XX. *An Eſſay on Pyrometry and Areometry, and on Phyſical Meaſures in general. By* John Andrew De Luc, *F. R. S.*

PART THE FIRST.

Concerning the meaſure of the expanſion of ſolids by heat.

Read March 19, 26, and April 9, 1778.

MY inveſtigations of this meaſure have been owing to accident. A new Hygrometer led me to them: I have already mentioned this inſtrument in the paper which the Royal Society has done me the honour to inſert in the laſt volume of the Philoſophical Tranſactions.

I had

Eſſai ſur la Pyrométrie et l'Aréométrie, et ſur les Meſures Phyſiques en général. Par J. A. De Luc, *Membre de la Societé Royale,* &c.

PREMIERE PARTIE.

De la meſure des expanſions des ſolides par la chaleur.

MES recherches ſur cette meſure ont été accidentelles: c'eſt un nouvel Hygrométre qui en eſt l'occaſion. Je faiſois déja mention de cet inſtrument dans le mémoire que la Societé Royale m'a fait l'honneur d'inſérer dans les Tranſact. Phil. de l'année dernière.

The Royal Society is collaborating with JSTOR to digitize, preserve, and extend access to *Philosophical Transactions of the Royal Society of London.* www.jstor.org

I had carried it with me to the top of the Hartz, with an intention to repeat there the obſervation upon the dryneſs of mountainous air, which I had made in the Alps; but it fell out, as it often does on mountains, that what I did obſerve was the extreme humidity.

I will not enter upon the conſtruction of this inſtrument, which I have not yet been able to take up again, to bring it to the exactneſs of which it is capable: all that is neceſſary to mention here is, that it is made of ivory, as the firſt was, but in a glaſs frame; and that the effects of the *humor* upon ivory being inconſiderable, I wanted, in order to meaſure them correctly, to deſtroy the effect of heat upon the frame, which I have done (as in the compound pendulum) by the expanſion of a rod of braſs in a contrary direction. But to do this it became neceſſary to determine the proportion between the

---

Je l'avois porté ſur la plus haute ſommité du Hartz, dans l'intention d'y répéter l'obſervation de la ſéchereſſe de l'air des montagnes, que j'avois faite dans les Alpes: mais il arriva, ce qui arrive auſſi très ſouvent ſur les montagnes, que ce fut l'humidité extréme que j'y obſervai.

Je n'entrerai pas dans le détail de la conſtruction de cet inſtrument, que je n'ai pu reprendre encore pour l'amener au point d'exactitude dont il eſt ſuſceptible: il ſuffira de dire ici, qu'il eſt d'yvoire comme le prémier que j'avois imaginé, que ſa monture eſt de verre, et que les effets de l'*humor* ſur l'yvoire étant peu conſidérables, j'ai voulu, pour les meſurer correctement, détruire l'effet de la chaleur ſur la monture; ce qui s'exécute, comme dans les pendules compoſés, par l'expanſion en ſens contraire d'une lame de leton. Il failloit donc déterminer les rapports

the dilatations of braſs and glaſs by heat, and that was the occaſion which led me to Pyrometry. One cannot advance a ſtep towards the improvement of any of the ſciences, without contributing at the ſame time to bring the others to the ſame level.

Being thus obliged to know with ſome degree of accuracy the relations of dilatations between braſs and glaſs, I began by conſidering the methods which had been made uſe of to eſtimate them, and found in them nothing but uncertainty. The mountings of the inſtruments were to be ſuſpected, and their influence not ſufficiently guarded againſt: Micrometers appeared to me uncertain; for wheels and levers are liable to almoſt unavoidable irregularities; ſimilar degrees of preſſure in the contact are difficult to eſtimate; and ſuch methods of increaſing ſmall phyſical

---

rapports des dilatations du léton et du verre par la chaleur; et c'eſt cet objet qui m'a jetté dans la Pyrométrie. On ne ſauroit faire avancer d'un dégré vers la perfection quelque branche des ſciences, ſans qu'elle tende à porter les autres au même niveau.

Me trouvant donc dans la néceſſité de connoitre avec quelque préciſion ces rapports des dilatations du léton et du verre, je réflechis ſur les moyens qu'on avoit employés pour les déterminer, et je n'y trouvai qu'incertitude. Les montures des machines me parurent ſuſpectes; je ne trouvai pas qu'on fût aſſez à l'abri des effets de leur propre dilatation: les Micrométres ſurtout me parurent peu ſûrs: car des rouages et des leviers ſont ſujets à des irrégularités preſque inévitables; des dégrés ſemblables de preſſion dans les contacts ſont difficiles à ſaiſir; et agrandir ainſi phyſical effects render them indeed more apparent, but do not at all contribute to their exact menſuration.

I had heard the ingenious Mr. RAMSDEN ſay, that he had a notion of a Pyrometer different from all that had been invented; and knowing his great ſkill in philoſophical and mechanical matters, I applied to him, and preſſed him to execute his idea. The multitude of his other engagements prevented his complying with my requeſt; and he adviſed me to look no farther for the proportions of the expanſions of braſs and glaſs than to Mr. SMEATON's experiments, which he looked upon, with reaſon, as the beſt that had been made(a). Still, however, upon my deſiring him to explain by what means he thought of being able to correct the faults of the ancient inſtruments, he was kind

(a) Phil. Tranſ. 1754.

enough

---

ainſi les petits effets phyſiques, c'eſt bien les rendre plus apparents, mais nullement les meſurer avec exactitude.

J'avois ouï dire à l'ingénieux Mr. RAMSDEN, qu'il avoit l'idée d'un Pyromètre différent de tous les autres; et connoiſſant ſa grande intelligence dans les matiéres de phyſique et de méchanique, j'eus recours à lui, et je le preſſai d'exécuter ſon plan. Mais la multitude des objets qui l'occupent l'en empêcha, et il me conſeilla de m'en tenir pour le rapport des expanſions du léton et du verre, aux expériences de Mr. SMEATON, qu'il regardoit avec raiſon comme les plus ſures[*]. Je priai cependant Mr. RAMSDEN de m'expliquer par quel moyen il comptoit de pouvoir éviter les défauts des machines anciennes; et il eut la complaiſance

[*] Phil. Tranſ. 1754.

de

enough to do it, and told me, that he propoſed meaſuring the expanſions of bodies, by the Micrometer of a Microſcope; by which means he ſhould obviate the greateſt mechanical difficulties. He added, moreover, that he had made a firſt trial of his method a long while ago, and was aſſured of the ſucceſs.

This idea ſtruck me, and being very deſirous of following it in my preſent need, I determined, if I could hit upon any method within my compaſs of ability, to undertake to execute it myſelf.

I found many difficulties ſo long as I only thought of abſolute meaſures of the expanſions of bodies. I was determined not to ſet to work without the hope of making an inſtrument that ſhould be really an exact one, and the Micrometer always puzzled me. But coming happily to reflect that I did not want abſolute meaſures,

---

de le faire. Il me dit donc, qu'il ſe propoſoit de meſurer les éxpanſions des corps, au moyen du Micromètre d'un Microſcope; ce qui éviteroit les plus grandes difficultés méchaniques: il ajouta même, qu'il avoit fait depuis long tems un premier eſſai de cette méthode, et qu'il étoit perſuadé du ſuccès.

Cette idée me frappa; et deſirant beaucoup d'en faire uſage dans mon beſoin préſent, je me déterminai à entreprendre de l'exécuter moi-même, ſi je pouvois imaginer quelque moyen qui fût à ma portée.

Je trouvai beaucoup de difficultés à cette entrepriſe, tant que je ne ſongeai qu'à des meſures abſolues des expanſions des corps. Je ne voulois pas mettre la main à l'oeuvre, ſans avoir l'eſpérance de faire une machine vraiment exacte; et le Micromètre m'embaraſſoit toûjours. Mais venant heureuſement à conſiderer, que

meaſures, and that it was enough for me to find the proportions of dilatibility between two different bodies, I was led by that idea to a very ſimple method, which made all the difficulties vaniſh, and gave me the confidence I wanted to ſet me to work. Afterwards, indeed, I went much farther than I expected in the abſolute meaſures themſelves, as I ſhall ſhew, after having firſt explained how I propoſed to aſcertain the relative expanſions, and the great advantage of that method in practice.

Principle on which is founded the comparative meaſure of the expanſions of bodies by heat.

I ſuppoſe(b) a perſon to take two rods of the ſame ſort of ſubſtance, or of two different ſubſtances equally dilatable

---

que je n'avois pas beſoin de meſures abſolues, et qu'il me ſuffiſoit de trouver avec certitude les rapports des dilatabilités de deux corps différens, je fus conduit par là à une idée fort ſimple, où toutes les difficultés s'évanouïrent: ce qui me donna la confiance dont j'avois beſoin pour mettre la main à l'oeuvre. Mais enſuite j'ai été plus loin que je n'aurois oſé eſpérer, dans les meſures abſolues mêmes: c'eſt ce que j'expoſerai, après avoir expliqué d'abord, comment je me propoſai de trouver les expanſions rélatives, et la ſureté qu'il y a dans la pratique en les enviſageant ſous ce point de vuë.

Principe de meſure comparative des expanſions des corps par la chaleur.

Je ſuppoſe (b) qu'on prenne deux branches de même matière, ou de matières également dilatables par la chaleur; et que, les poſant l'une ſur l'autre, on les

(b) See plate. VII. fig. 1. and its explanation.

lie

dilatable by heat, and laying them one over the other, to rivet them together at one of their ends. If then they are ſolidly ſuſpended by the oppoſite end of one of the rods only, and on the free rod there be marked a point, at the level of the point of ſuſpenſion of the other; theſe two points will remain equally immoveable, whatever be the heat which affects the two rods, ſo long as it affects them equally: for the expanſion downwards in the fixed rod will be compenſated by the expanſion upwards in that which is free; and conſequently, the point marked upon this will always remain equally high, that is, correſponding in the ſame manner with the point of ſuſpenſion of the other; ſo the proportion of expanſions of the two rods will be that of equality, ſince the diſtances from the point of union of the rods to the two immoveable points will be equal; and that, conſequently,

---

lie enſemble par un de leurs bouts: ſi on les ſuſpend ſolidement par le bout oppoſé de l'une des branches ſeulement, et qu'on marque un point ſur la branche libre vis à vis du point de ſuſpenſion de l'autre, ces deux points reſteront également immobiles, quelle que ſoit la chaleur qui affecte les deux branches, dès que ce ſera également: car l'allongement vers le bas dans la branche fixée, ſera compenſé par l'allongement vers le haut dans la branche libre; et par conſéquent le point marqué ſur celle-ci, reſtera toûjours exactement à la même hauteur, c'eſt à dire vis à vis du point de ſuſpenſion de l'autre. Ainſi le rapport des expanſibilités des deux branches, ſera celui d'égalité; puiſque la diſtance du point de réunion des branches, aux deux points immobiles, ſera la même, et que ſequently, the ſame length of the two ſubſtances will be requiſite to produce the ſame lengthening of them by heat.

But if the free rod ſhould have more or leſs expanſibility than the fixed rod, the immoveable point of the former will not be any longer at the ſame height as the point of ſuſpenſion of the latter; it will be lower, if its expanſibility be greater, becauſe a leſs length of this rod will be required to make up for the whole lengthening of the other. It will be higher, on the contrary, if its expanſibility be leſs; and the diſtances, from the point immoveable by ſuſpenſion, and the point immoveable by compenſation, to the point of union, will be always in the inverſe ratio of the expanſibility of the two ſubſtances.

If then we can find this immoveable point by compenſation, and its diſtance from the point of union, that of the point of ſuſpenſion being given, we ſhall have the relation

---

par conſéquent il aura fallu une même longueur des deux matières, pour produire un même allongement par la chaleur.

Mais ſi la branche libre a plus ou moins d'expanſibilité que la branche fixée, le point immobile de la première, ne ſera plus vis à vis du point de ſuſpenſion de l'autre: il ſera plus bas ſi ſon expanſibilité eſt plus grande; parce qu'il faudra moins de longueur de cette branche, pour compenſer tout l'allongement de l'autre: il ſera plus haut au contraire, ſi ſon expanſibilité eſt moindre: et les diſtances du point de réunion, au point immobile par la ſuſpenſion et au point immobile par compenſation, ſeront toûjours en raiſon inverſe de l'expanſibilité des deux matiéres.

Trouver donc ce point immobile par compenſation, et ſa diſtance au point de réunion, celle du point de ſuſpenſion étant connue, ce ſera trouver le rapport des expanſibilités

relation of the expanſibilities of the two ſubſtances. Now nothing is eaſier than to do this by means of a Microſcope, furniſhed with a ſingle immoveable wire; for the wire being fitted to a point of the free rod, and the two rods being equally warmed, if this point moves, it is a ſign that it is not that which is ſought for, which will then ſoon be found by pointing the Microſcope higher or lower on the free rod, according to what ſhall have been indicated by the firſt trials.

Thus then will the relation of the expanſibilities of two ſubſtances be procured without the neceſſity of having recourſe to any Micrometer; conſequently, without the riſks of the errors thoſe inſtruments are ſubject to, when they are uſed in very nice meaſures. All that will be neceſſary for the exactneſs of the obſervations will only be,

---

expanſibilités des deux matiéres. Or il eſt très aiſé de le trouver par le moyen d'un Microſcope muni d'un ſeul fil immobile. Car en ajuſtant ce fil ſur un point de la branche libre, et échauffant également les deux branches, ſi ce point ſe meut, ce ne ſera pas celui qu'on cherche; mais on le trouvera bientôt par tatonnement, en pointant le Microſcope plus haut ou plus bas ſur la branche libre, ſuivant que les prémières tentatives l'auront indiqué.

On aura donc ainſi les rapports des expanſibilités de deux matières, ſans beſoin de Micromètre, et par conſéquent ſans être expoſé aux erreurs qu'il pourroit introduire dans des meſures auſſi délicates: et tout ce qui eſt néceſſaire pour l'exactitude ne conſiſte qu'à s'aſſurer, qu'un Microſcope et

be, to be aſſured, that, whilſt the ſubſtances compared are warming, a Microſcope and a point of ſuſpenſion will be ſecured from being diſturbed by any motion; which is not very difficult.

Deſcription of an inſtrument, intended to find out the comparative expanſibilities of bodies by heat.

I flatter myſelf, that a deſcription will make this inſtrument ſufficiently underſtood to render it unneceſſary for me to give a figure of it: ſhould the Society, however, be deſirous of having a drawing of it, I ſhall with pleaſure obey their commands(c).

The baſis of the inſtrument is a rectangular piece of deal-board, very ſtrait-grained, two feet and a half long, fifteen inches broad, and one inch and a half thick: it is to this that all the other parts are fixed. The firſt thing I did

---

et un point de ſuſpenſion ſeront mis à l'abri de tout mouvement, tandis qu'on échauffera les matières comparées; ce qui n'eſt pas bien difficile.

Deſcription d'un inſtrument deſtiné à trouver les expanſibilités comparatives des corps par la chaleur.

Je crois pouvoir me diſpenſer de donner une figure de ma machine, parce que j'eſpére qu'une ſimple deſcription la fera comprendre. Si cependant la Société Royale ſouhaitoit que je la fiſſe deſſiner, je me conformerois à ſon intention(c).

Une planche de ſapin à fibres bien droites, de 2½ pieds de long, 15 pouces de large, et 1½ pouce d'épaiſſeur, fait la baſe de la machine. C'eſt à cette planche que

(c) See plate VII. fig. 2. and its explanation.

I did was, to mount it in the manner of a table, with four deal legs, each a foot long, and an inch and a half ſquare, very ſolidly fitted near its four angles, and kept together at the other ends by four croſs pieces, likewiſe very ſolid. I ſhall always conſider this ſmall table as hung to a ſtand, capable of being tranſported to whatever part there is moſt light in; the board being in a vertical ſituation in the direction of its grain, and bearing its legs forward in ſuch a manner as that the croſs pieces which join them may form a frame, likewiſe placed vertically facing the obſerver.

This frame ſuſtains the Microſcope, which is firmly fixed in another frame that moves in the former by means of grooves; but with ſuch a degree of tightneſs as ſo render it neceſſary to uſe ſmall ſtrokes of a hammer in order to make it ſlide. The preſſure of four ſcrews will

---

que ſont attachées toutes les autres parties. Je l'ai montée d'abord comme une petite table, ayant quatre jambes de ſapin d'un pied de long et d'1½ pouce en quarré, poſées bien ſolidement près de ſes quatre angles, et réunies à l'autre extrémité par quatre traverſes auſſi très ſolides. Je ſuppoſerai toûjours cette petite table ſuſpendue à un ſupport propre à être tranſporté là où l'on aura le plus de lumière, ſa planche étant dans une ſituation verticale dans la direction de ſes fibres, et portant ſes quatre jambes en avant, de manière que les traverſes qui les réuniſſent forment un cadre, ſitué auſſi verticalement en face de l'obſervateur.

C'eſt à ce cadre qu'eſt ſolidement adapté le Microſcope, dans un chaſſis qui monte et deſcend à couliſſe, et avec aſſez de juſteſſe, pour qu'il faille employer de petits coups de marteau pour le faire mouvoir: la preſſion de quatre

will give it the degree of friction one thinks proper. I preferred this mode to that of moving the Microſcope by a ſcrew, becauſe this laſt would have required metal, which is more ſuſceptible of the impreſſions of heat than deal is; and becauſe the execution of it would have been longer, and more expenſive, from the degree of perfection it would have required, whilſt this ſimple method has ſucceeded perfectly well.

The inner ſliding frame, which is likewiſe of deal, keeps the tube of the Microſcope in an horizontal poſition, and in great part without the frame, inſomuch that the end which carries the lens is but little within the ſpace between the frame and the board. This Microſcope is conſtructed in ſuch a manner as that the object obſerved may be an inch diſtant from the lens, and it

---

quatre vis lui donne le dégré de frottement que l'on veut. *J*'ai préféré ce moyen, à celui de conduire le Microſcope par une vis; parce que ce dernier auroit exigé du métal, plus ſuſceptible des impreſſions de la chaleur que le ſapin; et que l'exécution auroit été plus longue et plus diſpendieuſe, par la perfection qu'elle eût exigé: tandis que cette voye ſimple a parfaitement réuſſi.

Le chaſſis, qui eſt auſſi de ſapin, tient le tube du Microſcope ſitué horizontalement, et en grande partie au dehors du cadre; tellement que le bout qui porte la lentille n'eſt que fort peu en dedans de l'eſpace compris entre le cadre et la planche. Ce Microſcope eſt conſtruit de manière, que l'objet obſervé peut être

à un

it has a wire which is ſituated in the focus of the glaſſes in which the objects appear reverſed.

At the top of the apparatus there is a piece of deal, an inch and a half thick, and two inches broad, lain in an horizontal direction from the board to the top of the frame. It is this piece to which the rods of the different ſubſtances, whoſe expanſion by heat one wants to meaſure, are ſuſpended: one end of it ſlides into a ſocket, which is cut in the thickneſs of the board; and the other end, which reſts upon the frame, meets there with a ſcrew which makes the piece move backwards and forwards, to bring the objects to the focus of the Microſcope. There is a cork very ſtrongly driven through a hole bored vertically through this piece; and it is in another hole, likewiſe vertical, made through the cork, that

---

à un pouce de diſtance de la lentille; et il porte un fil au foyer des verres, où les objets ſe peignent renverſés.

Au haut de l'appareil eſt une pièce de ſapin, d'un pouce et demi d'épaiſſeur et de deux pouces de largeur, qui part horizontalement de la planche et vient ſe repoſer ſur le haut du cadre. C'eſt à cette pièce que ſont ſuſpendues verticalement les branches des diverſes matières dont on veut meſurer l'expanſion par la chaleur: elle gliſſe par un bout, en tenon, dans une mortaiſe percée dans l'épaiſſeur de la planche; et l'autre bout, qui repoſe ſur la cadre, y eſt reçu par une vis qui fait mouvoir la pièce en arrière ou en avant, pour amener les objets au foyer du Microſcope. Un bouchon de liège paſſe avec force par un trou percé verticalement dans cette pièce; et c'eſt par un trou, auſſi vertical, qui traverſe ce that the rods are fixed at the top: ſo that they hang only, and their dilatation is not counteracted by any preſſure.

In order to convince myſelf of the ſolidity of this inſtrument, I adjuſted the wire of the Microſcope upon a point of a rod thus ſuſpended, and left it in that ſtate for ſeveral hours, during which I not only moved but ſtruck the machine, without perceiving any change in the relative poſition between the point and the wire, which perfectly anſwered my end.

The next thing to be done was to heat my rods: for this purpoſe I procured a cylindrical bottle of thin glaſs, about twenty-one inches high, and four inches in diameter, which I placed in the inſide of my machine, upon a ſtand independent of the reſt of the apparatus. The rods are ſuſpended in this bottle at a little leſs than an inch

---

ce liège, que les branches ſont retenues par leur bout ſupérieur: elles ſont ainſi ſimplement ſuſpendues, et par conſéquent leur dilatation ne ſe conſume à aucun effort.

Pour m'aſſurer de la ſolidité de cette machine, j'ajuſtai le fil du Microſcope ſur un point d'une branche ainſi ſuſpendue, et je le laiſſai dans cet état pendant pluſieurs heures, en tranſportant et heurtant même la machine, ſans appercevoir aucun changement dans le rapport du point avec le fil: ce qui repondoit parfaitement à mon but.

Il s'agiſſoit alors d'échauffer mes branches. Je fis faire pour cela une bouteille cylindrique de verre mince, de 21 pouces de haut et de 4 pouces de diamétre, que je plaçai dans l'intérieur de ma machine ſur un ſupport indépendant de tout le reſte de l'appareil. Les branches pendent dans cette bouteille à un peu moins

inch diſtance from one of the ſides, in order to have them near the Microſcope. I poured into this bottle water of different degrees of heat, which I ſtirred about with a little piece of wood, faſtened horizontally at the end of a ſtick, which I moved upwards and downwards at one of the ſides of the bottle; in this water I hung a thermometer, the ball of which reached to the middle of the height of the rods.

The water during theſe operations riſes to the cork, which thus determines the length of the heated part: the bottle is covered, to prevent the water from cooling too rapidly at the ſurface; and a thin caſe of braſs prevents the depoſit of the vapor upon the piece of deal to which the rods are fixed.

This

---

moins d'une pouce de diſtance de l'un des côtés, parce qu'il faut qu'elles ſoyent à portée du Microſcope. Je verſe de l'eau à diverſes températures dans cette bouteille, et pendant les expériences, j'agite cette eau par le moyen d'une petite planchette tenue horizontalement au bout d'un bâton, que je fais mouvoir de haut en bas et de bas en haut à l'un des côtés de la bouteille. Je ſuſpends dans cette eau un Thermométre dont la boule atteint le milieu de la hauteur des branches.

L'eau, pendant les opérations, s'élève juſqu'au liège, qui détermine ainſi la longueur de la partie échauffée. La bouteille a un couvercle, pour empêcher le réfroidiſſement trop rapide de l'eau à la ſurface; et un étui de léton mince empêche ſa vapeur de ſe dépoſer ſur la pièce de ſapin où les branches ſont fixées.

Voila

This is a ſketch of my machine, the whole of which conſiſts in the keeping the Microſcope and the point of ſuſpenſion of the rods free from motion during the obſervation, and in heating the rods with water. I will now give an account of the experiments I have made with it.

Application of the method of finding the proportions between the expanſibilities of different matters by heat.---Determination of the relative expanſibilities of braſs and glaſs.

The firſt experiment I made with this machine was that which I wanted for my Hygrometer. I took a glaſs tube, ſimilar to thoſe which are made uſe of for common

---

Voila l'eſquiſſe de cette machine, où tout conſiſte à rendre le Microſcope et le point de ſuſpenſion des branches à l'abri de mouvement pendant l'obſervation; et à échauffer les branches par le moyen de l'eau. Je vais maintenant rendre compte des expériences que j'ai faites par ſon moyen.

Application de la méthode de trouver les rapports des expanſibilités de matières différentes par la chaleur.—Détermination des expanſibilités rélatives au léton et du verre.

La première expérience que je fis avec cette machine, fut celle dont j'avois beſoin pour mon Hygromètre. Je pris une branche de verre percée, ſemblable à celles qu'on employe aux Baromètres communs dont le tube eſt fort épais: ces tubes

common Barometers; that which I uſed for the frame of my Hygrometer, and on which I made the experiment, had an external diameter of about three-eighths, and an internal of about one-eighth of an inch: the rod was from twenty-one to twenty-two inches long, but it paſſed under the cork only eighteen Engliſh inches, reckoning from the point to which was fixed at its bottom the lamella of braſs the dilatation of which I wanted to compare with that of the glaſs. The lamella was applied from this point lengthways and upwards along the tube: it had been made thin by rollers, to render it the more elaſtic; and as it was too thin to ſupport itſelf upright, I kept it ſtretched in that direction by means of a thread, which, going over a pulley, bore at its other end a weight fit to give it the ſame degree of tenſion which it has in my Hygrometer.

Upon

---

tubes dont je fais uſage pour la monture de mes Hygromètres, et que je ſoumis à l'expérience, ont environ $\frac{3}{8}$ de pouce de diamètre extérieur, et d'$\frac{1}{8}$ à l'intérieur. Le tube que j'emploiai avoit 21 à 22 pouces de long, mais il n'excédoit le liège que de 18 pouces Anglois, à compter du point où étoit fixée dans le bas la lame de léton dont je voulois comparer la dilatation avec celle du verre. De ce point, la lame de léton s'élevoit le long du tube. Elle étoit faite au laminoir pour la rendre plus élaſtique; et comme elle ſe trouvoit trop mince pour ſe ſoutenir de bout par elle-même, je la tenois tendue dans cette direction par un fil, qui, paſſant ſur une poulie, portoit à ſon autre bout un poids propre à lui donner le même degré de tention qu'elle éprouve dans mon Hygromètre.

Upon this lamella I had marked a ſcale which began at its point of union with the glaſs, and was divided into ſmall equal parts at the ſpace along which I thought I might be obliged to move my Microſcope, in order to look for the point which would neither riſe nor fall by the variations of the heat.

Hitherto the difficulties had been inconſiderable, or rather I had experienced none at all: but it was not ſo in the phyſical inquiry which was my firſt object. The nearer we ſurvey nature, the more we ſee of the difficulty there is in unfolding her myſteries; as in the affairs of ordinary life, thoſe ever find them the moſt difficult, who underſtand them beſt. The moral and phyſical Microſcope are equally fit to render men cautious in their theories.

J'avois tracé ſur cette lame une échelle qui partoit de ſon point de réunion avec le verre, diviſée en petites parties égales dans l'étendue où je penſois pouvoir être obligé de promener mon Microſcope pour chercher ce point fixe, c'eſt à dire le point qui ne monteroit ni ne deſcendroit par les variations de la chaleur.

Les difficultés avoient été fort peu conſidérables juſques là, ou plutôt je n'en avois éprouvé aucune. Mais il n'en fut pas de même dans la recherche phyſique qui étoit mon premier objet. Plus nous voyons de près la Nature, plus nous appercevons les difficultés qu'elle oppoſe à ſe laiſſer dévoiler. C'eſt ainſi que dans les affaires mêmès de la vie, il n'y a perſonne qui les trouve plus difficiles que ceux qui les voyent le mieux. Le Microſcope, phyſique ou moral, eſt bien fait pour rendre l'homme circonſpect dans ſes théories.

The firſt phyſical difficulty I met with was not new to me: I had already met with it in two different machines in which I had made uſe of metals; in the one, to mark the variations of the heat; in the other, to compenſate the effects of it: it was the irregular dilatations of metals.

The laſt of theſe machines, which is that on which I have beſtowed the moſt care, and which I have ſtudied with the greateſt attention, corrects the effects of the heat upon a Barometer, and upon an Hygrometer of my firſt conſtruction, which is joined to it. A ſtrong rod of well hardened braſs ſupports upon an edge, at a convenient diſtance from the center of motion, a lever, which holds the ſcale of the Barometer ſuſpended, and makes it riſe or fall by the dilatation or condenſation of the braſs rod, as the quickſilver riſes or falls in the

---

La première des difficultés phyſiques que j'ai rencontrées ne m'étoit pas inconnue: je l'avois déja éprouvée en deux machines différentes où j'avois employé des métaux, dans l'une pour marquer les variations de la chaleur, et dans l'autre pour en compenſer les effets; c'eſt l'irrégularité des dilatations des métaux.

'La dernière de ces machines, qui eſt celle à laquelle j'avois donné le plus de ſoin, et que j'ai étudiée avec le plus d'attention, corrige les effets de la chaleur ſur un Baromètre, et ſur un Hygromètre de ma première conſtruction qui lui eſt joint. Une forte branche de léton, bien durcie à la filière, ſoutient ſur un tranchant, à une diſtance convenable du centre de mouvement, un levier qui tient ſuſpendue l'echelle du Baromètre, et qui la fait monter ou deſcendre, par la dilatation ou condenſation de la branche de léton, comme le mercure monte ou deſcend

the Barometer, by the correſponding variations of heat. This ſcale of the Barometer, when it moves, draws or looſens a thread of ſilk-graſs, which goes over a ſmall pulley placed upon the ſame axis with a much larger one, to which the ſcale of the Hygrometer is hung likewiſe by a ſimilar thread, which thus varies, by the proportion of the diameters of the pullies, as the heat makes the quickſilver in the Hygrometer vary.

This inſtrument is extremely convenient for meteorological obſervations, becauſe it ſaves one obſervation, and two corrections for the heat, and thus makes a ſaving of time, which is ſpecially precious to the Aſtronomer, who has ſo many objects of attention. But it is neceſſary from time to time to correct an irregularity in it, which one eaſily perceives by means of an index carried by the moveable ſcales

---

deſcend dans le Baromètre par les variations correſpondantes de la chaleur. Cette échelle du Baromètre, dans ſes mouvemens, tire ou relâche un fil de pite, qui paſſe ſur une petite poulie, miſe ſur un même axe avec une autre beaucoup plus grande à laquelle pend, auſſi par un fil de pite, l'échelle de l'Hygromètre, qui varie ainſi, par le rapport des diamètres des poulies, comme la chaleur fait varier le mercure de l'Hygromètre.

Cet inſtrument eſt très commode pour les obſervations météorologiques, parce qu'il diſpenſe d'une obſervation et de deux corrections pour la chaleur, et qu'il épargne ainſi du tems; œconomie principalement utile à l'Aſtronome, qui a tant d'objets d'attention à la fois. Mais il faut y corriger de tems en tems une irrégularité, qu'on apperçoit aiſément par le moyen d'un index que portent les échelles

ſcales of the two inſtruments, which, going over immoveable ſcales of the ſame ſort, ſhews their difference of height. When this difference is no longer conformable to the indication of the Thermometer, it is eaſily rectified by turning ſmall pegs, on which are twiſted the thread of ſilk-graſs which ſerves for the ſuſpenſion of the ſcales.

The irregularity of which I have been ſpeaking conſiſts in this, that when the heat, after having varied, returns to the ſame point of the quickſilver Thermometer, the metallic Thermometer does not return to it exactly, but varies nearly in the following manner. During the ſummer the metallic Thermometer gains conſtantly on the other; I mean, that amidſt its variations, it always preſerves a ſmall part of the lengthening, which

---

échelles mobiles des deux inſtrumens, et qui, paſſant ſur des échelles immobiles ſemblables, fait voir ainſi leur différence de hauteur. Si cette différence ceſſe d'être conforme à l'indication du Thermomètre, on la rectifie aiſément, en tournant de petites chevilles ſur leſquelles s'enveloppent les fils de pite qui ſervent à la ſuſpenſion des échelles.

L'irrégularité dont il s'agit conſiſte en ce que, lorſque la chaleur, après avoir varié, revient au même point ſur le Thermomètre de mercure, le Thermomètre métallique n'y revient pas toûjours exactement; et la marche des irrégularités eſt celle-ci: en Eté, le thermomètre métallique gagne de plus en plus ſur l'autre; c'eſt à dire que, dans ſes variations, il conſerve toûjours quelque petite partie de l'allonge-which is at that time its ordinary ſtate. In winter, on the contrary, it becomes inſenſibly a little too ſhort.

The other metallic Thermometer I have mentioned is made of lead. I made it ſeven or eight and twenty years ago, for an inſtrument which is more agreeable than uſeful, on account of its irregularity. A rod of lead, communicating by a thread of ſilk-graſs, with a ſmall pulley fixed to the ſame axis with a greater one, conducts, by means of another pulley, a needle through whoſe axis, which is bored, paſſes another axis which carries the needle of a pulley Barometer. Thus this inſtrument marks the heat and weight of the air upon two concentric circles, by means of two needles turning upon the ſame center, as in clocks; beſides which, the needle of the Thermometer points out upon a third circle the correction for the heat, to be made on

---

l'allongement qui fait alors ſon état ordinaire: en hiver au contraire, il devient inſenſiblement un peu trop court.

L'autre Thermomètre métallique dont j'ai parlé, eſt de plomb. Je le fis il y a 27 ou 28 ans pour une machine plus agreable qu'utile à cauſe de ſon irrégularité. Une branche de plomb, communiquant auſſi par un fil de pite avec une petite poulie, miſe ſur un même axe avec une plus grande, conduit, par une autre poulie et au moyen d'un contrepoids, une aiguille, dont l'axe percé, laiſſe paſſer celui qui porte l'aiguille d'un Baromètre à poulie. Ainſi cet inſtrument marque ſur deux cercles concentriques la chaleur et le poids de l'air, par deux aiguilles tournant ſur un même centre, comme dans les pendules; et celle du Thermomètre indique de plus ſur un troiſième cercle, la on the Barometer, which at that time I had already determined.

The irregularities of this laſt metallic Thermometer are of the ſame nature, but much more conſiderable than thoſe of the other: this had already made me ſuſpect, that they proceeded from the metal itſelf, though the wood, of which the frame was made, appeared a little ſuſpicious on account of the humidity.

I met with the ſame effects in my laſt experiments, when the frame no longer interfered; and the irregularity ſhewed itſelf in this manner. Whenever I had obſerved the point at which my Microſcope pointed upon the lamella of braſs, which was ſuſpended, with the rod of glaſs, in water at the temperature of the air, and then put warm water in the room of this; if I cooled the water

---

la correction à faire pour la chaleur ſur le Baromètre, que j'avois déja determinée alors.

Les irrégularités de ce dernier Thermomètre métallique, qui ſont de même nature que celles de l'autre, ſont encore beaucoup plus grandes; ce qui m'avoit déja fait ſoupçonner qu'elles procédoient du métal même; quoique la monture, qui eſt de bois dans les deux machines, me fût un peu ſuſpecte à cauſe de l'humidité.

Dans mes dernières expériences j'ai éprouvé les mêmes effets; et ici la monture n'étoit plus une raiſon de doute. Voici comment cette irrégularité ſe manifeſtoit. Quand j'avois obſervé le point où mon Microſcope viſoit ſur la lame de léton ſuſpendue avec la branche de verre dans l'eau à la température de l'air, et que je ſubſtituois à cette eau de l'eau chaude; ſi je refroidiſſois l'eau peu à peu, je

water by degrees, I found that the lamella of braſs preſerved a little of its lengthening. I did not ſuſpect the rod of glaſs, becauſe the elaſticity of this ſubſtance is phyſically perfect, and that this quality ſeems to me to be proper to bring back bodies to the ſame ſtate, whenever the cauſes, of what nature ſoever they be, which have drawn them from it, ceaſe: and I had ſoon after direct evidence of the irregularity not proceeding from the glaſs.

It was eaſy for me to find the proportion of the lengths of the braſs and the glaſs, which, changing ſuddenly the water, which had the ſame temperature as the air, for warm water, produced no difference in the heighth of the point upon which the Microſcope pointed: which ſhewed that the two ſubſtances had been equally expanded in contrary directions; but when I afterwards gradually

---

je trouvois que la lame de léton conſervoit un peu de ſon allongement. Je ne ſuſpectois pas la branche de verre; vu que l'élaſticité de cette matière eſt phyſiquement parfaite, et que cette qualité me paroit propre à ramener les corps au même état, quand les cauſes, quelles qu'elles ſoyent, qui les en ont tirés, viennent à ceſſer: et j'eus lieu enſuite de reconnoitre immédiatement que l'irrégularité ne venoit pas du verre.

Il me fut aiſé de trouver la proportion des longueurs du léton et du verre par laquelle, changeant tout à coup l'eau qui étoit à la température de l'air, en de l'eau chaude, il ne ſe trouvoit aucune différence dans la hauteur du point ſur lequel le Microſcope viſoit: ce qui montroit que les expanſions des deux matières en ſens contraires avoient été égales. Mais en diminuant enſuite par degrés la chaleur

gradually diminiſhed the heat of the water, this point roſe little by little; that is to ſay, the lamella of braſs preſerved a part of its lengthening, whilſt the rod of glaſs contracted itſelf to the ſame point at which it was at the beginning of the experiments. After a number of ſimilar trials, which always ended in the ſame manner, I went to work another way: when no change had been produced in the heighth of the point, by the ſudden change of water of the ſame temperature as the air into warm water, I immediately put, in the place of that warm water, water of the ſame temperature as the air, and in that caſe the point did not change neither.

It will not be uſeleſs to mention here, that I had in my bottle a ſyphon with a cock, by which I drew out the water without motion; and that I poured it in

---

chaleur de l'eau, ce point s'élevoit peu à peu; c'eſt à dire que la lame de léton conſervoit une partie de ſon allongement, tandis que la branche de verre ſe contractoit au même point où elle l'étoit au commencement de l'expérience.

Après nombre de tentatives de même eſpéce, dont les réſultats furent toûjours ſemblables, je procédai d'une autre manière. Lorſque, par le changement ſubit de l'eau qui étoit à la temperature de l'air, en eau chaude, il ne s'étoit fait aucun changement dans la hauteur du point, je ſubſtituois, ſubitement auſſi, à cette eau chaude, de l'eau à la température de l'air; et alors le point ne changeoit pas non plus.

Il ne ſera pas inutile de dire ici, que j'avois un ſyphon à robinet dans ma bouteille, par lequel je retirois l'eau ſans mouvement; et que je l'y verſois au travers d'un in through a long tunnel, by which means every thing remained quiet during the time of the experiment.

By comparing theſe two obſervations together, it ſhould ſeem, that when the igneous fluid is agitated for ſome time, in ſubſtances, the particles of which have not that ſtrong tendency towards each other which conſtitutes elaſticity, it produces ſome change in the arrangement of theſe particles, which hinders the compound from reſuming the ſame bulk upon the return of the ſame degree of heat; a change which there is not time to bring about, when the variations are ſudden, if there be at leaſt ſome elaſticity in the matter.

In ſupport of this we already know, that glaſs, the moſt elaſtic of known ſubſtances, is not ſubject to this irregularity, as I ſhall ſoon ſhew; that braſs, which is much leſs elaſtic, is ſenſibly affected by it; and that lead, the

---

d'un entonnoir à long tuyau. Ainſi tout reſtoit tranquille pendant l'expérience.

Ces deux obſervations comparées ſemblent donc indiquer, que lorſque le fluide igné s'agite pendant quelque tems dans les matières dont les particules n'ont pas entr'elles cette forte tendance qui fait l'élaſticité, il produit dans l'arrangement de ces particules quelque changement, qui empêche les compoſés de reprendre exactement le même volume quand le même degré de chaleur revient: changement qui n'a pas le tems de s'effectuer, lorſque les variations ſont ſubites, s'il y a du moins quelque élaſticité dans la matière.

Nous avons déja pour fondement de cette idée, que le verre, la plus élaſtique des matières connues, n'eſt pas ſujet à cette irrégularité, comme je le montrerai bientôt; que le léton, bien moins élaſtique, l'a ſenſiblement; et que le plomb, le

the leaſt elaſtic of all metals, is ſtill more ſubject to it than braſs, as I have experienced in my Thermometer made of it. Beſides, this ſeems to have an abſolute dependance upon that general law, that the leſs elaſticity ſubſtances have, the leſs time is neceſſary to make them take the bent one means to give them: lead takes it inſtantaneouſly; glaſs never takes it at all. A ball of the crumb of bread, which one ſo eaſily faſhions in one's fingers, preſerves its form when it is thrown with violence againſt a plain ſurface; becauſe the fluid which conſtitutes its elaſticity has not time to eſcape. Wood, braſs, and ſteel, reſiſt, but in the end give way. This effect is probably the ſame with that which the *humor* produces in the bodies it penetrates, which by degrees likewiſe take the habit of their ſtate; and this ſo much the more as

---

le moins élaſtique de tous les métaux, y eſt encore beaucoup plus ſujet que le léton, comme je l'ai vu dans mon Thermomètre fait de cette matiere. D'ailleurs cela me paroit rentrer abſolument dans ce phénomène ſi général; que moins les matières ont d'élaſticité, moins il faut de tems pour leur faire contracter le plis qu'on leur donne: le plomb le prend dans l'inſtant; le verre ne le prend jamais; une balle de mie de pain, qu'on façonne ſi aiſément entre ſes doigts, conſerve ſa forme en bondiſſant, quand on la jette avec violence contre une ſurface unie, parce que le fluide qui fait ſon élaſticité n'a pas le tems de s'échapper; le bois, le léton, l'acier, reſiſtent, mais enfin ſe rendent. Cet effet eſt probablement le même que celui que produit l'*humor* dans les corps qu'elle pènètre, auxquels nous voyons auſſi prendre peu à peu l'habitude de leur état, et d'autant plus qu'ils

as they are leſs elaſtic: this is what made me chuſe to make my Hygrometer of ivory, as I have already ſaid in my paper on that ſubject.

If this conjecture upon the effects of heat in bodies which have little elaſticity be grounded, as I think it is, clocks would gain ſome more regularity, if in the compoſition of their pendulum, glaſs were uſed inſtead of ſteel, and bell-metal inſtead of braſs; for theſe two ſubſtances being the moſt elaſtic we are acquainted with, by uniting them we ſhould be much ſurer of preſerving the ſame length of the pendulum in the variations of the heat.

There would be another ſmall advantage in making uſe of theſe ſubſtances, which is, that bell or mirrour metal, having the ſame expanſibility as braſs, as Mr. SMEATON has demonſtrated by his experiments, and glaſs having

---

qu'ils ſont moins élaſtiques. C'eſt ce qui m'a fait choiſir l'yvoire pour l'Hygromètre, comme je l'ai dit dans mon mémoire ſur cet inſtrument.

Si cette conjecture ſur les effets de la chaleur dans les corps peu élaſtiques, eſt fondée, comme elle me paroit l'être, il y auroit quelque choſe à gagner pour la régularité des pendules, à employer le verre au lieu de l'acier, et le métal de cloche en place du léton, dans la compoſition de la verge de leur pendule. Car ces deux matières étant les plus élaſtiques que nous connoiſſions, nous ſerions bien plus ſûrs de conſerver par leur combinaiſon, une même longueur au pendule dans les variations de la chaleur.

On auroit encore ce petit avantage en employant ces matières, que le métal de cloche ou celui des miroirs ayant la même expanſibilité que le léton, comme Mr. SMEATON l'a trouvé par ſes expériences, et le verre en ayant moins que l'acier, having leſs than ſteel, the grid-iron would be ſhorter or more ſimple.

The proportion of the dilatations of braſs and ſteel, being only as five to three, it is impoſſible to compenſate the dilatation of the ſteel by a ſingle rod of braſs; for as there muſt be a ſecond rod of ſteel to go downwards again, there will be two lengths of ſteel for one of braſs, for which a proportion in the dilatation of ſix to three, or two to one, would not even ſuffice. One is therefore obliged to have a ſecond rod of braſs, which goes upwards, by which means the grid-iron comes to be compoſed of nine rods, the two aſcending pairs of which are braſs. Thus then the lens, which is always very heavy, is born by the top of one of the pairs of the rods, which, through the medium of a pair of rods of ſteel, are themſelves ſupported on the top of the other pair of the rods of

---

l'acier, on auroit une grille moins longue ou plus ſimple.

Le rapport des dilatations du léton et de l'acier étant ſeulement de 5 à 3, il eſt impoſſible de compenſer la dilatation de l'acier par un ſeul retour du léton de bas en haut. Car comme il faut enſuite une autre branche d'acier qui redeſcende pour porter la lentille, on a deux longueurs d'acier pour une de léton; à quoi un rapport des dilatations de 6 à 3 ou 2 à 1 ne pourroit pas même ſuffire: je ne m'arrêterai pas à le montrer. On eſt donc obligé de faire remonter une ſeconde fois le léton; et c'eſt par cette raiſon que la grille eſt compoſée de 9 branches, dont 2 paires montantes ſont de léton. Ainſi la lentille, qui eſt toûjours d'un aſſez grand poids, eſt portée pai le haut de l'une des paires, qui, elle même, par l'entremiſe d'une paire de branches d'acier, pèſe ſur le haut de l'autre paire de branches de léton.

of braſs. Now there muſt be ſome flexion in theſe rods of braſs during the oſcillations of the pendulum, in which the lens acquires a ſmall centrifugal force from the end of one vibration to the other, and thus weighs differently upon the rods. Beſides, this neceſſity of turning back twice, increaſes the total length of the rods, and conſequently all the cauſes of irregularity. On the contrary, by making uſe of bell-metal and glaſs, the dilatations of which are as ſeven to three, a ſingle pair of rods of the former, will be ſufficient to compenſate the dilatations of the glaſs rods; conſequently the gridiron may either be ſhorter, or made up only of five rods, a pair of glaſs ones deſcending on the outſide, a pair of bell-metal ones aſcending on the inſide, and a glaſs rod deſcending at the center, and carrying the lens.

This

---

léton. Or il doit y avoir quelque flexion dans ces branches de léton par les oſcillations du pendule; la lentille acquerant un peu de force centrifuge d'une extrémité à l'autre de chaque excurſion, et peſant ainſi différemment ſur les branches. D'ailleurs cette néceſſité de retourner deux fois en arrière, augmente la longueur totale des branches, et par conſéquent elle augmente toutes les cauſes d'irrégularité. Aulieu qu'en employant le métal de cloche et le verre, dont les dilatations ſont comme 7 à 3, une ſeule paire de branches du premier, ſuffira pour compenſer la dilatation des branches de verre. La grille pourra donc être ou plus courte, ou compoſée ſeulement de 5 branches: une paire de verre deſcendantes à l'extérieur, une paire de métal de cloche montantes en dedans, et une branche de verre deſcendante au centre pour porter la lentille.

This diminution of the total length of the rods, and that of the flexion, muſt contribute to increaſe the regularity of the pendulum, independently of the greater regularity of the expanſion of the ſubſtances themſelves.

As I have begun this digreſſion upon an object ſo eſſential to clock-making, I ſhall obſerve farther, that the experiments I am ſpeaking of are applicable to it in another reſpect, which ſeems to me of ſome importance. Subſtances of the ſame denomination are not homogeneous enough for us to conclude, that what has been found in the one, with reſpect to their very delicate properties, will always be exactly the ſame in the other: and that, for inſtance, the lengthening of a certain rod of braſs by heat, is an indication that every rod of braſs will have preciſely the ſame lengthening. My opinion therefore

---

tille. Cette diminution de longueur totale des branches, et celle de la flexion, ne peuvent qu' augmenter la régularité du pendule, indépendamment de la plus grande régularité de l'expanſion des matières mêmes.

Puiſque j'ai commencé une digreſſion ſur cet objet eſſentiel à l'horlogerie, je ferai encore remarquer ici, que les expériences dont je parle lui ſont applicables à un autre égard qui me paroit de quelque importance. Les matières qui portent le même nom, ne ſont pas aſſez homogènes, pour que dans leurs propriètés délicates nous puiſſions conclure, de ce que nous avons trouvé dans une, qu'il en ſera exactement de même de toutes celles qui ont la même dénomination; et qu'ainſi par exemple, l'allongement d'une certaine branche de léton par la chaleur, nous indique l'allongement de tout léton par cette cauſe. Je crois donc

therefore is, that it would be of ſome advantage, if, upon every pendulum intended for very delicate obſervations, there were made the experiment of the comparative lengthening of the ſubſtances which compoſe it; marking the center of oſcillation upon the lens by the known methods, and pointing a Microſcope upon this center whilſt the heat is made to vary.

By uſing for theſe pendulums glaſs and bell-metal, the firſt of which is not at all affected by water, and the other very little (which little might even be prevented by varniſhing it) it would be eaſy to obſerve the effects of the heat upon them in water, by means of a tin veſſel, having a glaſs facing the center of oſcillation. By pouring water of different temperatures into this veſſel, whilſt the Microſcope remains pointed to that center, one would diſcover, in the ſureſt and ſhorteſt manner, that combination

---

donc qu'on obtiendroit plus d'exactitude ſi l'on faiſoit immédiatement ſur chaque pendule deſtiné à des obſervations délicates, l'expérience de l'allongement comparatif des matières qui le compoſent, en marquant ſur la lentille, par les méthodes connues, le centre d'oſcillation, et pointant un Microſcope ſur ce centre, tandis qu'on feroit varier la chaleur.

En employant à ces pendules le verre et le métal de cloche, dont le prémier n'eſt point affecté par l'eau, et l'autre l'eſt très peu, et pourroit même être verniſſé, il ſeroit aiſé encore d'y obſerver les effets de la chaleur dans l'eau, au moyen d'une caiſſe de fer blanc, qui auroit une glace vis à vis du centre d'oſcillation. En y verſant de l'eau à diverſes températures tandis que le Microſcope ſeroit pointé ſur ce centre, on trouveroit de la manière la plus ſure et la plus courte nation of the two ſubſtances, which would preſerve the ſame length to the pendulum between two determined temperatures.

To make this ſtill eaſier, it would be poſſible to conſtruct the grid-iron in ſuch a manner as that its corrective rods being fixed by ſcrews, the proportions of their lengths might be changed, till the bell-metal perfectly compenſate for the lengthening of the glaſs between the two fixed temperatures, of which I ſhall ſpeak hereafter. For there would be nothing to correct by this method, but the difference of expanſibilities of the ſubſtances employed, comparatively with the mean expanſibility of ſubſtances of the ſame denomination, which would have been firſt diſcovered by experiments made for that purpoſe. I ſhall reſume hereafter this correction of the pendulum,

---

courte, la combinaiſon des deux matières qui conſerveroit ſenſiblement au pendule, une même longueur dans des variations déterminées de température.

Pour rendre ce moyen plus commode, on pourroit aiſément conſtruire la grille de manière, que ſes branches correctives étant retenues dans leurs traverſes par des vis, on pût changer les rapports de leurs longueurs, juſqu'à ce que le métal de cloche compenſât parfaitement l'allongement du verre entre les deux températures fixées, dont je parlerai ci-après. Car on n'auroit à corriger par cette méthode, que les différences d'expanſibilité des matières employées, comparativement à l'expanſibilité moyenne des matières de même nom, qu'on auroit trouvée prémièrement par des expériences faites à ce deſſein. Je reviendrai dans la ſuite à cette dulum, in order to conſider it in a point of view ſtill more important.

I now return to the comparative dilatations of glaſs and braſs; I mean to the experiments which I made in order to determine at what heighth of the lamella of braſs the point was, which ſhould remain unmoved by the variations of heat.

Theſe experiments, notwithſtanding all my pains, turned our ſurprizingly irregular; and it was neceſſary to make a great number of them, to arrive at any degree of probability. In the firſt place, the duration of the operations made the braſs take, what I have named, the habit of its ſtate, which prevented it from returning exactly to that in which it was at the ſame degree of heat:

à cette correction du pendule, pour la conſidérer ſous une face plus importante encore.

Je reviens aux dilatations comparatives du verre et du léton; c'eſt à dire à ces expériences par leſquelles je cherchois à déterminer à quelle hauteur ſur la lame de léton ſe trouveroit le point qui reſteroit immobile par les variations de la chaleur.

Malgré tous les ſoins que je pris, ces expériences ſe trouvèrent d'une irrégularité ſurprenante; et il fallut en faire un bien grand nombre pour arriver à des réſultats un peu probables. D'abord, la longueur des opérations faiſoit toujours prendre au léton ce que j'ai appellé l'habitude de ſon état; ce qui l'empêchoit de revenir exactement à celui où il étoit auparavant par le même degré de chaleur.

heat[(d)]: the quicker, however, the returns, the more regular they were; it will be therefore only from ſuch as were quick that I ſhall hereafter deduce my concluſions.

Another difficulty I met with in my experiments aroſe from the difference of the effect of the different changes of the temperature. When I ſuddenly changed the temperature of the water from 10° to 70° of the Thermometer to which I have given the name of *common* in my work upon the Modifications of the Atmoſphere (which anſwer to 54°½ and 189½ of FAHRENHEIT) a ſomewhat leſs length of braſs was wanted to compenſate the dilatation of the glaſs, than when I increaſed the heat leſs; as,

(d) Since the writing of this I have been told, that the ſame phenomenon is obſerved in the correcting Thermometer of watches; and that it produces irregularities which are in an increaſing progreſſion.

for

---

leur *(d)*. Quand ces retours étoient prompts ils étoient plus réguliers. Ce ne ſera donc que de celles de mes obſervations qui furent promptes, que je tirerai ci-après les réſultats probables.

Un autre embarras que j'éprouvai dans ces expériences, provint de la différence d'effet des changemens différens de température. Quand je portois tout à coup la température de mon eau de 10° à 70° du Thermomètre que j'ai appellé *commun* dans mon ouvrage ſur les Modifications de l'Atmoſphére, et qui correſpondent à 54°½ et 189°½ de FAHRENHEIT, il me failloit une longueur un peu moindre de léton pour compenſer la dilatation du verre, que lorſque j'augmentois moins la

(d) J'ai appris depuis que j'ai écrit ceci, qu'on remarque ce phénomène dans les Thermomètres correcteurs des montres, et qu'il y cauſe des irrégularités croiſſantes.

chaleur,

for inſtance, from 10° to 40°, to which, however, I limited myſelf for a reaſon I will ſoon mention.

The more I approached the heat of boiling water in warming the water in my experiment, the nearer I came to the proportion found by Mr. SMEATON between the lengthenings of theſe two bodies by heat; which he has fixed between glaſs and braſs wires (which anſwers to my milled braſs) as 100 to 232. I had a point upon my lamella of braſs which anſwered to this proportion; that is, the lengths of the braſs and glaſs were at that point in an inverſe ratio of theſe numbers; and this point did not change ſenſibly when, inſtead of water of 10°, I ſubſtituted water which I poured boiling into my bottle, and which brought the Thermometer to 74° or 76°. But when I only encreaſed the heat to 40°, this length of braſs

---

chaleur, comme par exemple de 10° à 40°, à quoi je me bornai par la raiſon que j'indiquerai.

Plus j'approchois de la chaleur de l'eau bouillante en échauffant mon eau, plus je me rapprochois du rapport qu'a trouvé Mr. SMEATON entre les allongemens de ces deux corps par la chaleur, qu'il a fixé, entre le verre et du léton tiré à la filiére (qui répond à mon léton laminé) comme 100 à 232. J'avois un point ſur ma lame de léton, qui correſpondoit à ce rapport; c'eſt à dire que les longueurs du léton et du verre y étoient en raiſon inverſe de ces nombres; et ce point ne changeoit pas ſenſiblement de hauteur, quand je ſubſtituois à l'eau de 10°, de l'eau que je verſois bouillante dans ma bouteille, et qui portoit le Thermomètre à 74° ou 76°. Mais lorſque je n'augmentois la chaleur que juſqu'à 40°, cette braſs was not ſufficient; the point inſenſibly ſunk: I ſpeak of the greateſt number of experiments, for there were ſome contrary ones.

Theſe uncertainties recalled my attention to the particular object on account of which I had undertaken my experiments; I mean my new Hygrometer, on which, in order to compenſate the effect of heat upon glaſs, it was neceſſary to produce this compenſation in the natural variations of the temperature of the air. I therefore confined myſelf within theſe limits; not indeed preciſely within the ſame temperatures, which ſeemed too difficult, though it would have been better; but between temperatures nearly equally different.

I will not give a minute account of theſe experiments; be it ſufficient to ſay, that from the difference of temperature

---

cette longueur de léton ne ſuffiſoit pas; le point baiſſoit ſenſiblement. Je parle du plus grand nombre des expériences; car il y en eut quelquefois de contraires.

Voyant ces incertitudes, je tournai mon attention ſur l'objet particulier pour lequel j'avois entrepris ces expériences; c'eſt-à-dire mon nouvel Hygromètre, où, pour compenſer l'effet de la chaleur ſur le verre, je n'avois beſoin de produire cette compenſation que dans les variations naturelles de la température de l'air. Je me renfermai donc dans cet eſpace; non préciſément entre les mêmes températures, ce qui me parut trop difficile, quoique c'eût été le mieux; mais entre des températures à peu près également différentes.

Je ne rendrai pas compte ici du détail de ces expériences; il ſuffira de dire, que par la différence de température entre 10° et 40° de mon Thermomètre, le rapport

rature between 10° and 40° of my Thermometer, the mean proportions of the dilatations of the braſs and glaſs were as 21 to 10; conſequently, I had need of a length of braſs which ſhould be to that of the glaſs in my Hygrometer as 10 to 21, in order to make up for the dilatability of its frame; whereas it needed to have been from 10 to 23 in the tranſition from water in ice to boiling water.

I do not give this latter proportion as being equally to be depended upon as the other; but it is ſufficient that there be really a difference between the two, to ground the general reflexions I ſhall make, after having previouſly noticed another difference of the ſame kind which I have found by means of this Pyrometer.

But before I mention theſe new experiments, I will beſtow another moment upon thoſe which relate to the compa-

---

rapport moyen des dilatations du léton et du verre fut comme 21 à 10; et que par conſéquent j'avois beſoin d'une longueur de léton qui fût à celle du verre dans mon Hygromètre, comme 10 à 21, pour compenſer la dilatabilité de ſa monture; au lieu qu'il l'auroit fallu de 10 à 23 dans le paſſage de l'eau dans la glace à l'eau bouillante.

Je ne donne pas ce dernier rapport comme auſſi ſûr que l'autre; mais il ſuffit qu'il y aît certainement une différence entre les deux, pour fonder les réflexions générales aux quelles je viendrai, après avoir expliqué une autre différence du même genre que j'ai trouvée au moyen de ce Pyromètre.

Mais avant que de rapporter ces nouvelles expériences, je m'arrêterai encore un moment ſur celles qui regardent les expanſibilités comparatives, ou les rapport entre

comparative expanſibilities, or the proportion there is between the expanſibilities of bodies, which ſeem to me by this method to be reduced to an operation as ſimple as it is concluſive.

Firſt, with reſpect to the frame of my Pyrometer, however rude it be, I have hitherto diſcovered no defect in it. A point of ſuſpenſion of the rods which preſerves throughout the experiment its relative poſition to the Microſcope, is the eaſieſt thing to obtain by means of this deal frame, which is not ſenſibly affected by the ſmall changes in the air, and is expoſed to no other variation: and this is a great point gained when it is conſidered, that hitherto frames had a ſenſible effect upon the indications of the Pyrometers; and that all that could be done, was to endeavour to obviate this influence.

Again,

---

entre les expanſibilités des corps, qui me paroiſſent reduites par cette route à une opération auſſi ſimple que ſure.

D'abord quant à la monture de mon Pyromètre, quelque groſſière qu'elle ſoit, je n'y ai trouvé juſqu'à preſent aucun défaut. Un point de ſuſpenſion des branches, qui conſerve pendant l'expérience ſa poſition relative à celle du Microſcope, eſt la choſe la plus aiſée à obtenir par cette monture de ſapin; les petits changemens de l'air ne l'affectant point ſenſiblement, et n'étant expoſée à aucune autre cauſe de variation. Or c'eſt là un grand point d'obtenu, quand on conſidère que juſqu' ici les montures influoient toûjours eſſentiellement ſur les indications des Pyromètres, et que tout ce qu'on pouvoit faire, étoit de chercher à en corriger les effets.

Enſuite,

Again, meaſurement will itſelf always be an occaſion of error more or leſs conſiderable in phyſics, becauſe our Micrometers are all imperfect. It is true, indeed, that we are daily improving them, and with great reaſon, ſince we are obliged to meaſure almoſt every where; but it is not leſs true, that, not to be obliged to meaſure, is a great additional ſecurity. Now by this method there is no neceſſity for meaſuring: all one wants is, to find a point upon the rods of different ſubſtances thus ſuſpended, which neither riſes nor falls when the temperature of the water is changed; and it is ſufficient for this purpoſe, that the Microſcope do not vary during the obſervation.

As to the meaſure of the lengths of the rods, whoſe expanſions compenſate each other at this point, all poſſible errors in this reſpect are hitherto of no import. We

---

Enſuite, meſurer, ſera toûjours en phyſique une occaſion d'erreurs plus ou moins grande; parceque nos Micromètres ſont tous imparfaits. On les perfectionne tous les jours d'avantage; et il le faut bien, puiſque nous ſommes obligés de meſurer preſque partout; mais il n'en eſt pas moins vrai, qu'être diſpenſé de meſurer eſt une grande ſureté de plus. Or on l'eſt totalement par cette méthode. Trouver ſur l'une des branches de matières différentes ainſi ſuſpendues, un point qui ne s'élève ni ne s'abaiſſe en changeant la température de l'eau, eſt tout ce dont on a beſoin; et il ſuffit pour cela que le Microſcope ne varie pas tandis qu'on obſerve.

Quant à la meſure de la longueur des branches dont les expanſions ſe compenſent à ce point, c'eſt un objet ſur lequel les erreurs poſſibles ne ſont encore d'aucune

We are very far from being able to perceive, in the quantities of expanſions, thoſe differences which might ariſe from the imperfection of this meaſure.

One may take therefore a rod of ſome ſubſtance, glaſs for inſtance, and put at the end of it a convenient claſp for holding other rods of different ſubſtances: thus, by ſeparately comparing their expanſions with that of the rod of glaſs, by the poſition of the immoveable point, one will obtain the proportion of their expanſibility with that of glaſs, and conſequently with each other.

Nor may ſolids only be ſubjected to theſe experiments, but fluids alſo: for by encloſing them in a cylindrical tube of glaſs, the expanſibility of which is known, they will be as rods, which may be thus ſubmitted to the ſame experi-

---

cune conſéquence. Nous ſommes bien loin de pouvoir reconnoitre dans les quantités des expanſions, les différences qui pourroient reſulter de l'imperfection de cette meſure.

On pourra donc avoir une branche d'une certaine matière, de verre par exemple, à l'un des bouts de laquelle on aura ajuſté une pince commode, pour y fixer d'autres branches de diverſes matières: et comparant ainſi ſéparément leur expanſion avec celle de la branche de verre, par la poſition du point immobile, on aura les rapports de leur expanſibilité avec celle du verre, et par conſéquent entre elles.

Ce ne ſera pas ſeulement les ſolides qu'on pourra ſoumettre à ces expériences; mais les fluides. Car en les renfermant dans un tuyau de verre cylindrique, dont l'expanſibilité ſoit connue, on en ſera comme des branches, qu'on pourra ainſi ſoumettre

experiments, by means of a ſmall opaque body floating at the top of them, and to which the Microſcope may be pointed. I do not, however, inſiſt upon this application of the machine; ſince the expanſion of liquids may be obſerved in vaſes, the dimenſions of which are known, by joining cylindrical tubes to them, which render their expanſions much more ſenſible. I ſhall only obſerve, that from the knowledge of the dilatability of the tube, one ſhould not reduce its capacity to what it would be if the glaſs did not dilate itſelf, as is done with reſpect to vaſes in order to know the true change in the volume of liquids contained in them; but that, on the contrary, we ſhould here ſuppoſe the dilatation of glaſs greater than it is, and as it would be if it had the ſame expanſibility as the liquid; and then diminiſh according to that proportion

---

ſoumettre aux mêmes expériences, en faiſant flotter un petit corps opaque à leur ſurface, pour y pointer le Microſcope. Cependant je n'inſiſte pas ſur cette application de la machine; parceque les expanſions des liquides peuvent être obſervées dans des vaſes dont on connoit la capacité, en y joignant des tubes cylindriques; ce qui rend leur expanſion beaucoup plus ſenſible. Je remarquerai donc ſeulement; qu'il ne faudroit pas, d'après la connoiſſance de la dilatabilité de la matière du tuyau, réduire par le calcul ſa capacité, à ce qu'elle feroit ſi le verre ne ſe dilatoit point, comme on le fait à l'égard des vaſes pour connoitre le changement réel du volume des liquides qu'ils contiennent; mais qu'au contraire il faudroit ici ſuppoſer cette capacité plus grande, en la portant à ce qu'elle feroit, ſi le verre avoit la même expanſibilité que le liquide; et diminuer dans cette proportion l'allongement

portion the obſerved lengthening of the latter: for in comparing the expanſion of a fluid with that of a ſolid, we muſt take notice, that we meaſure the change of bulk of the latter, according to one of its three dimenſions only, for which reaſon the fluid muſt be brought to the ſame predicament.

Air might alſo be ſubjected to theſe experiments by encloſing it in a glaſs tube by means of a ſmall column of quickſilver. But I cannot help being of opinion, that all experiments made on air encloſed, will be found inaccurate, when applied to the air in general. The expanſibility of air by heat varies exceedingly, according to its greater or leſs degree of humidity; and I know from experience, how difficult it is to encloſe in a tube, air of a determinate dryneſs: but if it is more humid than its mean

---

l'allongement obſervé de celui-ci. Car pour comparer l'expanſion d'un fluide à celle d'un ſolide, il faut avoir égard à ce que nous ne meſurons le changement de volume de ces derniers que ſuivant une ſeule de leurs trois dimenſions, et que par conſéquent il faut reduire le fluide au même cas.

On pourroit auſſi ſoumettre l'air à ces mêmes expériences, en le renfermant dans le tube de verre par une petite colonne de mercure. Mais je ne puis m'empécher de croire que les experiences ſur l'air renfermé feront toûjours inexactes quand on les appliquera à l'air en général. L'expanſibilité de l'air par la chaleur varie beaucoup, ſuivant qu'il eſt plus ou moins humide; et je ſais par expérience, qu'il eſt bien difficile de renfermer dans un tube, de l'air d'une ſécherеſſe déterminée.

mean ſtate in the atmoſphere, its expanſibility by heat will be greater.

It is not impoſſible that this may be the reaſon why Colonel ROY and Sir GEORGE SHUCKBURG found a greater expanſibility in the air encloſed in their Manometers than what I deduced from my obſervations in the open air. The bare difference there is between the air of London and that of the mountains of Switzerland may be ſufficient to account for this effect. I believe, indeed, that the differences of humidity will be cauſes of error in the Barometrical meaſures of heights, ſo long as theſe differences ſhall not enter into the formulæ; and it was this conſideration which firſt led me to think of an Hygrometer(e).

(e) I ſhall return to this object, and treat it more particularly, in a paper upon Refractions, of which I ſhall ſpeak hereafter.

As

---

déterminée. Or s'il eſt plus humide que ſon état moyen dans l'atmoſphère, ſon expanſibilité par la chaleur ſera plus grande.

Il n'eſt pas impoſſible que ce ne ſoit là la raiſon pour laquelle Mr le Col. ROY et Mr le Chev. SHUCKBURGH ont trouvé à l'air renfermé dans leurs Manométres, une expanſibilité plus grande que celle que j'ai déduite de mes obſervations dans l'air libre; la difference peut-être de l'air de Londres et de celui qui environne les montagnes de la Suiſſe, peut produire cet effet: je crois même que les différences d'humidité ſeront des cauſes d'écarts dans les meſures Barométriques des hauteurs, tant qu'on ne pourra pas faire entrer ces différences dans les formules: c'eſt le prémier motif qui m'a fait chercher un Hygromètre (e).

(e) Je reviendrai à cet objet pour le traiter plus particulièrement, dans un mémoire ſur les Rèfractions dont je parlerai ci-après.

Quant

As to the differences of the concluſions drawn from theſe gentlemen's experiments and mine made in the open air, though they be conformable to the above-mentioned difference, they may yet ariſe from another cauſe. I always obſerved the temperature of the air with my Thermometer in open air, and in the Sun when it ſhone; whereas they obſerved in the ſhade. As often then as I found the air warmer in the Sun, than I ſhould have found it in the ſhade, which was almoſt always the caſe, eſpecially in the plain, I did not ſtand in need of as great a correction as thoſe gentlemen for each degree of the Thermometer; ſince in the ſame circumſtances the degrees were more numerous in my obſervations than in theirs, and conſequently, with a leſs correction for each degree, my whole correction was equal to theirs. I will add, that I did

---

Quant aux différences des réſultats des expériences de ces Meſſieurs et des miennes dans l'air libre, quoique conformes à la différence précédente, elles pourroient bien venir d'une autre cauſe. J'obſervois toûjours la température de l'air avec mon Thermomètre à boule iſolée, en plein air, et au ſoleil quand il luiſoit; au lieu qu'ils l'obſervoient à l'ombre. Si donc je trouvois l'air plus chaud au ſoleil, que je ne l'aurois trouvé à l'ombre, ce qui étoit preſque toûjours le cas, ſurtout à la plaine, je n'avois pas beſoin d'une ſi grande correction que ces Meſſieurs pour chaque degré du Thermomètre, puiſqu'ils étoient plus nombreux dans mes obſervations que dans les leurs par les mêmes circonſtances; et qu'ainſi, avec une moindre correction pour chaque dégré, j'avois une correction totale auſſi grande. J'ajouterai, que je n'ai pas trouvé que les rayons directs du ſoleil

did not find that the direct rays of the Sun heated irregularly the glaſs of the ball of a Thermometer when clean, which may be eaſily ſeen by looking at the experiment mentioned in p. 56, 57. of the ſecond volume of my work: conſequently, when theſe direct rays act upon the air, it is a cauſe of heat which ſhould not be neglected.

I am ſtill therefore of opinion, that it is better to obſerve the Thermometer in the Sun than in the ſhade; and that the correction for the heat of the air may ſtand ſuch as this method of obſerving requires it. There are always acting cauſes enough in the column of air weighing upon the inferior Barometer, which cannot be known in the ſuperior ſtation, for us not to neglect any of the ordinary cauſes which may be perceived.

It

ſoleil échauffaſſent irrégulièrement le verre bien net de la boule d'un Thermomètre; ce qu'on pourra voir aiſément par l'expérience rapportée aux p. 56 et 57 du ſecond volume de mon ouvrage: et ainſi quand ces rayons directs agiſſent ſur l'air, c'eſt une cauſe de chaleur qui ne me ſemble pas devoir être négligée.

Je crois donc toûjours qu'il convient mieux d'obſerver le Thermomètre au ſoleil qu'à l'ombre, et de laiſſer la correction pour la chaleur de l'air proportionnée à cette méthode. Il reſte toûjours aſſez de cauſes agiſſantes dans la colonne d'air qui pèſe immédiatement ſur le Baromètre inférieur, qu'on ne peut pas connoitre à la ſtation ſupérieure, pour qu'on ne doive négliger aucune des cauſes communes qui ſont ſaiſiſſables.

It is therefore probable, that had I obſerved in the ſame places as theſe gentlemen with my Barometer, expoſing at the ſame time my Thermometer to the Sun, I ſhould have found the real height as well as they, without changing my rule; which already appears, I think, from my having derived it from experiments made in the ſame place where Sir GEORGE SHUCKBURGH has made his principal obſervations.

I will only add, that if, in the different opportunities I have had of trying my rule ſince it is fixed, it had conſtantly given me the heights too ſmall, as thoſe gentlemen have found it, even conſidering what is above ſtated, I ſhould have ſuſpected with Colonel ROY, that I ought not to have taken out from the obſervations from which I have concluded my rule, thoſe which I made

---

Il eſt donc aſſez probable, que ſi j'avois obſervé dans les mêmes lieux que ces Meſſieurs avec mon Baromètre, et en expoſant mon Thermomètre au ſoleil, j'aurois trouvé comme eux les hauteurs réelles, ſans changer ma règle: et c'eſt ce qui paroit déja, ce me ſemble, de ce que je l'ai conclue d'expériences faites dans le même lieu où M^r le Chev. SHUCKBURGH a fait ſes principales obſervations.

J'ajouterai ſeulement, que ſi dans les diverſes occaſions que j'ai eues d'éprouver cette règle depuis qu'elle eſt fixée, elle m'avoit donné conſtamment les hauteurs un peu trop petites, comme il reſulteroit des expériences de ces Meſſieurs, même en ayant égard aux conſiderations ci-deſſus, j'aurois ſoupçonné alors avec M^r le Col. ROY, que je n'aurois pas dû retrancher du nombre des obſervations dont j'ai tiré ma régle, celles que j'avois faites au lever du ſoleil, qui toutes donnent les

made at Sun-riſe; all which, according to this rule, give the heights too ſmall. For it would then appear, that it is owing to accident alone that the exceptions of this kind happen to be at that preciſe time of day; that they are deviations which are ſtill to be expected, till more circumſtances have been taken notice of in the obſervations, and new equations are introduced in the formula; and that having admitted the exceptions on the contrary ſide, I ought to have left thoſe in the bulk of my obſervations, before I deduced the mean laws from them, which would have brought me nigher to the concluſions drawn from Sir GEORGE SHUCKBURGH's and Colonel ROY's obſervations.

The late Mr. DE LA CONDAMINE, one of thoſe rare men who take an intereſt in the labours of their friends, was already of this opinion; and I ſhould have made uſe of it, had not my tables been already calculated. However,

---

les hauteurs trop petites ſuivant cette règle. Car il paroitroit en ce cas, que ce n'eſt qu' accidentellement que les exceptions dans ce ſens là ſe rencontrent à ce moment du jour; que ce ſont des écarts auxquels on doit encore s'attendre, juſqu'à ce qu'on aît embraſſé plus de circonſtances dans les obſervations, et de nouvelles équations dans la formule; et qu'ayant admis les exceptions contraires, je devois laiſſer celles là dans l'enſemble de mes obſervations, avant d'en déduire les loix moyennes: ce qui m'auroit rapproché d'avantage des réſultats des obſervations de M^r le Col. ROY et de M^r le Chev. SHUCKBURGH.

Feu M^r DE LA CONDAMINE, l'un de ces hommes rares qui ſavent s'intéreſſer aux travaux de leurs amis, m'avoit déja fait faire cette réflexion; et j'y aurois eu ever, I did not find afterwards any neceſſity for it by my own obſervations.

Here then is a new ſubject of inveſtigation, and conſequently thoſe gentlemen's obſervations are exceedingly intereſting, ſince they will engage natural philoſophers not to give up this object till it is entirely cleared up.

I return to my idea of encloſing bodies in tubes of glaſs, only to obſerve that it will be abſolutely neceſſary to make uſe of this method, in the experiments upon the expanſion of bodies affected by humidity, as well as by heat, for thoſe cannot be expoſed naked to the heat of the water. Woods, therefore, may be compared either with one another, or with metals, by encloſing them in glaſs tubes. Some difficulties I met with from the vapours which form themſelves in heated tubes; one of the

---

eu egard ſi mes tables n'avoient été toutes calculées. Cependant dès lors je n'en ai pas apperçu le beſoin par mes propres obſervations.

Voila donc un nouvel objet d'examen; et par conſéquent les obſervations de ces Meſſieurs ſont très intéreſſantes; puis qu'elles engageront les phyſiciens à ne pas abandonner cet objet, juſqu'à ce qu'il ſoit éclairci.

Je reviens à l'idée de renfermer les corps dans des tubes de verre, pour ajouter ſeulement, qu'il ſera indiſpenſable d'employer ce moyen, lors qu'on voudra ſoumettre à ces expériences des corps que l'humidité affecte auſſi bien que la chaleur: car ceux là ne peuvent pas être expoſés nuds à la chaleur de l'eau. On pourra donc par exemple comparer les bois entr'eux ou avec les métaux, en les renfermant dans des tubes de verre. Quelques difficultés que j'ai éprouvées, à cauſe des vapeurs qui ſe forment dans les tubes échauffés, et qui ſont une de mes raiſons de

the reaſons why I ſuſpect the experiments made upon air in Manometers, has obliged me to ſuſpend the experiments I had undertaken upon the expanſion of woods.

This method of finding the relative expanſibilities of bodies may eaſily be turned into a method of finding their abſolute expanſibilities: for if one knows with certainty the expanſibility of the rod of glaſs to which all the other bodies are compared; by means of that, one will come to the knowledge of the abſolute expanſibility of all theſe bodies.

The point then would be to give all poſſible attention, and uſe all the reſources of art, to the determining the expanſibility of this rod of glaſs; and this one may hope to arrive at by this ſame machine, as I ſhall ſhew by the following account of my firſt trial.

Eſſay

---

de ſuſpecter les expériences faites ſur l'air dans les Manomètres, m'ont obligé de ſuſpendre celles que j'avois entrepriſes ſur l'expanſion des bois.

Cette méthode de trouver les expanſibilités rélatives des corps, peut encore être changée aiſément en une méthode de trouver leurs expanſibilités abſolues. Car ſi l'on connoit par exemple celle de la branche de verre à laquelle on comparera tous les autres corps, on connoitra par elle l'expanſibilité abſolue de tous ces corps.

Il ne s'agiroit donc que de concentrer ſon attention, et toutes les reſſources de l'art, ſur la détermination de l'expanſibilité de cette branche de verre; à quoi l'on peut eſpérer de réuſſir avec cette même machine, comme je vais le montrer d'après un prémier eſſai.

Eſſai

Eſſay upon the meaſure of the abſolute expanſion of bodies by heat.

Though I did not at firſt intend to make uſe of my inſtrument in the meaſure of abſolute expanſions, I could not help making ſome experiments on this ſubject.

Beſides the immoveable wire placed in the focus of the Microſcope, I had deſired Mr. RAMSDEN to put in another, moveable by a ſcrew: I then began, firſt, by ſeeking the value of the parts of the Micrometer, in doing which the little ſcale I had traced on the lamella of braſs was again of ſervice to me. I had made it as exact as I poſſibly could; each of its diviſions was the 400th part of a French foot. The divided part of it was three

---

Eſſai ſur la meſure des expanſions abſolues des corps par la chaleur.

Quoique je n'euſſe pas intention d'abord d'employer ma machine à meſurer des expanſions abſolues, je ne laiſſai pas de tenter quelques expériences ſur cet objet.

Outre le fil immobile placé au foyer du Microſcope, j'avois demandé à M^{r} RAMSDEN d'en mettre un qui fût mobile, et conduit par une vis. Je cherchai donc d'abord la valeur des parties du Micromètre; à quoi me ſervit encore la petite échelle tracée ſur ma lame de léton. Je l'avois faite auſſi exactement qu'il m'avoit été poſſible, et ſes parties étoient des 400^{mes} du pied de France. Elle avoit three French inches in length, conſequently conſiſted of 100 of theſe parts, that were, or were ſuppoſed to be, equal.

Pointing then my Microſcope at firſt upon one of the extremities of the ſcale, the two wires coinciding, I brought the moveable wire to the next point, counting the turns of the ſcrew: then conducting the immoveable wire from one part to another of the ſcale, and bringing at every change the moveable wire to the point immediately following, I noted all theſe lengths of the parts meaſured by the Micrometer, the ſmall differences of which marked the imperfections of the ſcale. The mean of theſe 100 meaſures gave me 21,333 turns of the ſcrew, for a part of my ſcale, that is, for $\frac{1}{400}$th of a French foot. This, according to the proportion of 16 to 15 between this foot and the Engliſh, a proportion exact enough

---

avoit 3 pouces de France dans la portion diviſée, et par conſéquent 100 de ces parties égales, ou cenſées l'être.

Pointant donc d'abord mon Microſcope ſur l'une des extrémités de l'échelle, tandis que les deux fils coïncidoient, j'amenai le fil mobile ſur le point ſuivant, en comptant les tours de la vis; puis conduiſant le fil immobile de partie en partie de l'échelle, et amenant à chaque fois le fil mobile au point immédiatement ſuivant, je notai toutes ces grandeurs des parties, meſurées par le Micromètre, dont les petites différences marquoient les imperfections de l'échelle. Le milieu entre ces 100 meſures me donna 21,333 tours de la vis, pour une partie de mon échelle, c'eſt à dire pour $\frac{1}{400}$ du pied de France. Ce qui, dans le rapport de 16 à 15 de ce pied

enough for this meaſure (and perhaps very exact) makes twenty turns for $\frac{1}{400}$th of the Engliſh foot, or one turn for $\frac{1}{8000}$th of a foot. One could eaſily diſtinguiſh the effect of $\frac{1}{10}$th of a turn; conſequently, the inſtrument was ſenſible at $\frac{1}{80000}$th of a foot, or about $\frac{1}{7000}$th of an inch.

Knowing thus the value of the parts of my Micrometer, I undertook to meaſure the abſolute lengthening of my rod of glaſs, which was of 1.8 Engliſh inches; and from a mean of four experiments, the reſult of which differed very little, I found that my rod of glaſs had lengthened 7,5 turns of the ſcrew of my Micrometer from the heat of 10° of my Thermometer to that of 70°.

I ſhall not make any ſenſible error if I augment this number of turns in the proportion of 60 to 80, in order to obtain the total expanſion which would be made by the

---

pied à celui d'Angleterre, aſſez exact pour un objet de cette nature (et peut-être très exact) fait 20 tour pour $\frac{1}{400}$ du pied Anglois, ou 1 tour pour $\frac{1}{8000}$ de pied. On pouvoit diſtinguer aiſément l'effet d'$\frac{1}{10}$ de tour, et par conſequent l'inſtrument étoit ſenſible à $\frac{1}{80000}$ de pied, ou environ $\frac{1}{7000}$ de pouce.

Connoiſſant la valeur des parties de mon Micromètre, j'entrepris de meſurer l'allongement abſolu de ma branche de verre, qui avoit 18 pouces anglois: et par un milieu entre quatre expériences, dont les réſultats différèrent très peu, je trouvai que, de la chaleur de 10° ſur mon Thermomètre à celle de 70°, ma branche de verre s'étoit allongée de 7,5 tours de la vis du Micromètre.

Je ne ferai pas une erreur ſenſible en augmentant ce nombre de tours dans le rapport de 60 à 80, pour avoir l'expanſion totale qui ſe feroit faite par le paſſage de l'eau dans la glace à l'eau bouillante, ſoit de 0 à 80°, malgré la conſidération de

the paſſage of water in ice to boiling water, that is, from 0 to 80° upon my Thermometer, notwithſtanding the conſideration of the different progreſs of quickſilver and glaſs in their expanſions by heat, which I ſhall ſpeak of hereafter; becauſe the two terms of the obſervation, 10° and 70°, are equi-diſtant from the two fixed points of the Thermometer. I ſhall have then a third part to add to the number of turns for the expanſion of 18 inches of glaſs paſſing from the heat of water in ice to that of boiling water, which will make 10 turns, or $6\frac{2}{3}$ for the expanſion of one foot.

One turn of the ſcrew being equal to $\frac{1}{8000}$th of a foot, $6\frac{2}{3}$ make $\frac{6\frac{2}{3}}{8000} = \frac{1}{1200}$th of a foot $= \frac{1}{100}$th of an inch in one foot. Now this is preciſely what had been found by Mr. SMEATON. However, this ſingular conformity may be

---

de la différence des marches du mercure et du verre dans leurs expanſions par la chaleur, dont je parlerai ci-après: parce que les deux termes de l'obſervation, qui ſont 10° et 70°, ſe trouvent à égale diſtance de ces deux points fixes du Thermomètre. J'aurai donc un tiers à ajouter au nombre des tours, pour l'expanſion de 18 pouces de verre, paſſans de la chaleur de l'eau dans la glace à celle de l'eau bouillante; ce qui fera 10 tours, ou $6\frac{2}{3}$ pour l'expanſion d'1 pied.

Un tour du Micromètre étant égal à $\frac{1}{8000}$ de pied, $6\frac{2}{3}$ font $\frac{6\frac{2}{3}}{8000} = \frac{1}{1200}$ de pied $= \frac{1}{100}$ de pouce dans 1 pied. Et voila préciſément ce que M^r^ SMEATON avoit trouvé par ſes expériences. Cependant cette conformité ſingulière pourroit bien

be only accidental; for I do not believe that all glaſſes have an equal dilatability by heat. Their dilatability often appears different when they are ſoldered; for it is no doubt owing to that, that the parts which are united when they are melted, often ſeparate when they grow cold, which does not happen when the glaſs is exactly the ſame. It is poſſible, therefore, that this apparently exact conformity was occaſioned by ſome compenſation, rather than by real exactneſs.

I ſaid before, that the irregularities I obſerved, when the glaſs and the braſs were combined, were not to be attributed to the glaſs, and here is a proof of it. When I had adjuſted the immoveable wire of my Microſcope to a ſharp point which terminated my rod of glaſs, the water being at the temperature of 10° of my Thermo-

---

bien n'être qu'accidentelle; car je ne crois pas que les différens verres ayent tous une égale dilatabilité par la chaleur: on ne voit que trop ſouvent quand on les ſoude, que leurs dilatabilités peuvent être différentes; car c'eſt ſans doute par là, que les parties réunies quand elles ſont fondues, ſe ſéparent quelquefois en ſe réfroidiſſant; ce qui n'arrive pas quand c'eſt exactement le même verre. Il ſe pourroit donc que cette exacte conformité apparente vînt de quelque compenſation plutôt que d'une exactitude réelle.

J'ai dit ci-deſſus que les irrégularités que je remarquois lorſque le verre et le léton étoient combinés, ne devoient pas être attribuées au verre; et en voici la preuve. Lorſque j'avois ajuſté le fil immobile de mon Microſcope ſur une pointe aigue qui terminoit ma branche de verre, tandis que l'eau étoit à la tem-

pérature

Thermometer, and that, after having heated it to 70°, I brought it back gradually to 10°, the point either returned exactly to the wire, or ſo near to it that I could draw no concluſion, from the ſmall difference, againſt the regularity of the return of the glaſs to its ſame length in the ſame temperature. In one of the four experiments it returned exactly; in a ſecond, I wanted light indeed to obſerve this laſt point, but I could judge from the preceding ſteps that it would be exact; in the others, the differences would have ſeemed to indicate, that the glaſs had retained ſome part of its lengthening; but the quantity was ſo ſmall, that even when it was real, it might be conſidered as null in practice.

Glaſs conſequently is the fitteſt ſubſtance to be made uſe of as the ſtandard of compariſon in experiments upon the comparative dilatabilities of bodies; ſince whatever

---

pérature de 10° de mon Thermomètre, et qu'après l'avoir échauffée à 70° je la ramenois peu à peu à 10°, la pointe revenoit exactement au fil, ou ſi près, que je n'ai pu en tirer aucune conſéquence contre la régularité du retour du verre à ſa même longueur dans la même température. Dans une des quatre expériences il y revint exactement; dans un autre le jour me manqua pour obſerver ce dernier point, mais je pus juger par les pas précédens, qu'il ſeroit juſte; et dans les deux autres les différences auroient indiqué que le verre auſſi avoit conſervé un peu de ſon allongement: mais la quantité étoit ſi petite, que lors même qu'elle ſeroit réelle, on pourroit la regarder comme nulle dans la pratique.

Le verre eſt donc la matière la plus propre à ſervir de terme de comparaiſon dans les expériences ſur les dilatabilités comparatives des corps; puiſque les irrégularités

ever irregularities there might be in the obſervations, they would certainly ariſe only from the bodies that may be compared to it, and might for that reaſon be more eaſily aſcertained and determined. It has even another uſeful property for ſuch a purpoſe, and that is, its being one of the leaſt dilatable of all bodies, from which it would almoſt always happen that it ſhould be the rod of glaſs which would be fixed, the other being ſhorter; which would prevent making any changes in the apparatus.

Glaſs, as I have ſaid before, would likewiſe be an uſeful ſubſtance for the pendulum; ſince one might depend upon the conſtancy of the progreſs of its variations by heat. It is true, indeed, that its fragility would be an objection to uſing it in common clocks; but the aſtronomer, accuſtomed

---

larités qu'on appercevroit dans les obſervations, ne viendroient ſurement que des corps qui lui ſeroient comparés, et pourroient être par là plus aiſément conſtatées et déterminées. Il a même encore pour cet uſage une autre propriété utile; c'eſt d'être un des moins dilatables des corps: par là il arriveroit preſque toûjours que ce ſeroit la branche de verre qui ſeroit fixée, l'autre étant plus courte; ce qui épargneroit des changemens dans l'appareil.

Le verre ſeroit encore, comme je l'ai déja dit, une matière précieuſe pour le pendule; puis qu'on pourroit compter ſur la conſtance de ſa marche dans les variations de la chaleur. Sa fragilité ſeroit ſans doute une objection pour les pendules accuſtomed to reſpect his clock as well as all his other inſtruments, would not be prevented by this conſideration.

This regularity of the returns of glaſs to the ſame length by the ſame temperature in my four experiments, is likewiſe a proof of the exactneſs of the inſtrument; and if the value of the parts of the Micrometer was well aſcertained, one might be ſure of the abſolute expanſion of the glaſs I made uſe of.

I dare not yet be poſitive that this is ſo, becauſe the part of the ſcrew which meaſured theſe expanſions is not the ſame as that which meaſured the parts of my ſcale. But for an experiment which it ſhould be neceſſary to make only once, it would be eaſy to meaſure the expanſions of the glaſs by many parts of the ſcrew, in the intervals of thoſe turns which had ſerved to meaſure the parts of the

ſcale,

---

dules ordinaires; mais l'Aſtronome, accoutumé à reſpecter ſa pendule comme tous ſes autres inſtrumens, ne ſera pas arrêté par cette conſidération.

Cette régularité des retours du verre à la même longueur par la même température dans mes quatre expériences, eſt auſſi une preuve de l'exactitude de l'inſtrument. Et ſi la valeur des parties du Micromètre étoit bien déterminée, on pourroit être ſûr de l'expanſion abſolue du verre que j'employai.

Je ne puis pas l'aſſurer encore, parce que la partie de la vis qui meſura ces expanſions, n'eſt pas la même que celle qui meſuroit les parties de mon échelle. Mais il ſeroit aiſé, pour une expérience qu'on ne ſeroit obligé de faire qu'une fois, de meſurer les expanſions du verre par pluſieurs parties de la vis, dans l'intervalle de ſes tours qui auroit ſervi à meſurer les parties de l'echelle, pour

prendre

ſcale, in order, if the reſults ſhould happen to be different, to take a mean of them. In a word, for this one meaſure one might uſe all the precautions that are not grudged in a fundamental experiment, though one is apt to neglect them in common uſe.

The expanſion of a certain rod of glaſs might therefore be thus determined; and by fixing to it afterwards any other ſubſtance, in the manner which I have explained, one would have, by means of the immoveable wire alone, their abſolute expanſibility, free from any ſenſible error occaſioned from the inſtrument.

Notwithſtanding that the expanſions of the glaſs were regular in my experiments, they did not obſerve the ſame progreſs as my Thermometer in their degrees. Thoſe of the glaſs were always increaſing, or its condenſations decreaſing,

---

prendre enſuite le milieu entre les réſultats, s'ils étoient différens. En un mot on pourroit prendre dans cette meſure unique, toutes les précautions qu'on ne regrette pas dans une expérience fondamentale, mais qu'on néglige ſi aiſément dans l'uſage ordinaire.

On détermineroit donc ainſi l'expanſion d'une certaine branche de verre, d'après laquelle, en attachant enſuite à cette branche toute autre matière comme je l'ai expliqué, on auroit, par le fil immobile ſeul, leur expanſibilité abſolue exempte de toute erreur ſenſible provenant de l'inſtrument.

Quoique les expanſions du verre ſe trouvaſſent régulières dans mes expériences, elles ne ſuivirent pas la marche du Thermomètre dans leurs degrés: celles du verre furent toûjours croiſſantes, ou ſes condenſations décroiſſantes, compadecreaſing, comparatively, with thoſe of the quickſilver in the Thermometer.

Having obſerved this progreſs of the glaſs very clearly in my three firſt experiments, I directed the laſt to the purpoſe of aſcertaining it, and for this reaſon I made it with the greateſt care. I firſt of all adjuſted the Microſcope to the point at the extremity of the glaſs, the two wires coinciding, and the water being at 10°: I afterwards changed this firſt water into warm water of 70°, and was obliged to move the moveable wire 7,6 turns of the ſcrew to reach the point. I then cooled the water progreſſively by 10° at a time, and theſe are the proportions of the condenſations of the glaſs as they were marked by the moveable wire regreſſively, 31, 29, 26, 24, 22, 19. Theſe are twentieth parts of the turns of the ſcrew, the ſum of them makes 7,6 turns, by which

---

comparativement à celles du mercure dans le Thermomètre.

Ayant remarqué cette marche du verre d'une manière très ſenſible dans mes trois premières expériences, je dirigeai la quatrième vers le but de la déterminer, et je l'exécutai pour cela avec le plus grand ſoin. J'ajuſtai d'abord le Microſcope ſur la pointe qui étoit à l'extrèmité du verre, les deux fils coïncidant, et l'eau étant à 10°: je changeai enſuite cette prémière eau en de l'eau chaude à 70°: et il me fallut mouvoir le fil mobile de 7,6 tours de la vis, pour attendre la pointe. Puis je réfroidis l'eau de 10° en 10°, et voici les rapports des condenſations du verre, tels que le fil mobile les indiqua en retrogradant: 31, 29, 26, 24, 22, 19. Ce ſont des 20^{me} de tours de la vis; leur ſomme fait les 7,6 tours dont la vis s'étoit

which the ſcrew had got forward; and it is this one, of my four experiments, in which I ſaid that the return of the glaſs to the point from whence it had ſet out was perfectly exact. Theſe numbers are ſenſibly in arithmetical progreſſion; but I do not pretend to infer from thence, that this is the true law obſerved by the condenſations of glaſs, compared with the condenſations of quickſilver equal between themſelves; to affirm that, one ſhould have examined the Micrometer better. It is evident, however, that they are conſiderably decreaſing.

I muſt mention here, why I choſe to obſerve the condenſations of glaſs in water ſucceſſively leſs heated, rather than its dilatations in water ſucceſſively more heated. It is becauſe by this means I brought the water with much more certainty to an uniform temperature.

If

---

s'étoit avancée; et c'eſt celle de mes quatre expériences où j'ai dit, que le retour du verre à ſon point de départ fut parfaitement exact. Ces nombres ſont ſenſiblement en progreſſion arithmétique; mais je ne prétends pas en conclure que ce ſoit là la vraie loi que ſuivent les condenſations du verre, comparativement à des condenſations du mercure égales entr'elles; il faudroit pour cela avoir mieux examiné le Micromètre: cependant on voit au moins avec certitude qu'elles ſont conſidérablement décroiſſantes.

Je dois faire mention ici de la raiſon pour laquelle j'ai prèféré d'obſerver des condenſations du verre dans l'eau ſucceſſivement moins chaude, plutôt que ſes dilatations dans l'eau ſucceſſivement plus chaude. C'eſt que par cette voye j'amenois beaucoup plus ſurement mon eau à une température uniforme.

Si

If you pour warm water upon water that is leſs warm, whether it be that the firſt, being lighter, remains at the top, or that heat deſcends difficultly in water, or from both cauſes united, certain it is, that there may be ſurprizing differences between the top and the bottom. My Thermometer, as I ſaid before, was hung in ſuch a manner that the ball of it was near the middle of the rod of glaſs. When I poured warm water ſlowly upon water that was leſs warm, it ſometimes happened that the Thermometer did not vary till I had mixed them. I tried to convey warm water to the bottom through a pipe; but it immediately roſe: and if the Thermometer did not happen to be upon its aſcending ſtream, it ſtill roſe very little, and it was always requiſite to ſtir the water before the Thermometer was fixed. On the contrary, when I poured water

---

Si l'on verſe de l'eau chaude ſur de l'eau moins chaude; ſoit que la première étant plus légère reſte à la ſurface; ſoit que la chaleur deſcende difficilement dans l'eau; ſoit par l'une et l'autre de ces cauſes; il peut y avoir des différences de chaleur ſurprenantes entre le haut et le bas. Mon Thermomètre, comme je l'ai dit, étoit ſuſpendu de manière que ſa boule étoit au milieu de la hauteur de la branche de verre. Quand je verſois lentement de l'eau chaude ſur de l'eau moins chaude, il arrivoit quelquefois que le Thermomètre ne varioit pas juſqu'à ce que je les euſſe mêlées. Je voulus eſſayer de porter l'eau chaude dans le fond par un tuyau; mais elle s'élevoit auſſitôt: et ſi le Thermomètre ne ſe trouvoit pas ſur ſon paſſage, il montoit peu encore; et toûjours il falloit beaucoup agiter l'eau avant qu'il fût immobile. Au contraire lorſque je verſois l'eau moins chaude ſur

water leſs warm upon warmer water, it was ſcarce neceſſary to ſtir the mixture: before I had done it, the Thermometer had almoſt quite fallen to the point of the mean temperature. This therefore is much the ſafeſt method for all operations of this kind. I had already experienced it in the compariſon of Thermometers made of different liquors, which I have mentioned in my work above quoted.

By operating in this manner I was ſure to have given the rod of glaſs the degree of heat indicated by my Thermometer; and I repeat it, without aſſuring that the numbers above written give us the true law of the condenſations of glaſs comparatively with degrees that are equal among themſelves upon the Thermometer, their difference is too great, and too regular not to point out a progreſſion ſenſibly decreaſing. Here

---

ſur l'eau plus chaude, je n'avois preſque pas beſoin d'agiter le mélange; avant que je l'euſſe fait, le Thermomètre avoit baiſſé preſque entièrement au point de la température moyenne.

C'eſt donc la méthode la plus ſure de beaucoup pour toutes les opèrations de ce genre. Je l'avois déja éprouvé dans la comparaiſon des Thermomètres de différentes liqueurs dont j'ai parlé dans mon ouvrage cité ci-devant.

En opérant donc de cette manière j'étois ſûr d'avoir communiqué à ma branche de verre la chaleur qu'indiquoit mon Thermomètre. Et je le répète, ſans aſſurer que les nombres rapportés ci-deſſus nous donnent la vraie loi des condenſations du verre, comparativement à des dégrés égaux entr'eux ſur le Thermomètre, leur différence eſt trop grande et trop régulière, pour ne pas indiquer une progreſſion ſenſiblement décroiſſante.

Here then is a ſecond inſtance in theſe experiments alone, of the difference there may be between the laws that follow in their progreſs different effects of the ſame cauſes; an object very important in natural philoſophy, and to the elucidating of which I dedicate the ſecond part of this paper.

PART

Ainſi voila le ſecond exemple, dans ces expériences ſeules, de la différence qu'il peut y avoir entre les loix que ſuivent les différens effets des mêmes cauſes; objet important en phyſique, et auquel je deſtine la ſecond partie de ce Mémoire.

SECONDE

PART THE SECOND.

Obſervations upon phyſical meaſures.

MOST of our phyſical inſtruments are meaſures of effects. The progreſs made in natural philoſophy, encreaſes every day the number of theſe meaſures; or rather it is by the encreaſe of them that natural philoſophy has been ſo much improved within a century, and that it ſtill continues daily to improve. In proportion as its different branches encreaſe or extend themſelves, we ſee the catalogue of our *meters* encreaſe. Inſtead of continuing to be ſatisfied with perceiving, with conjecturing, with forming ſyſtems upon what is improperly called the poſſible, and is in fact the land of viſions, we endeavour to

---

SECONDE PARTIE.

Remarques ſur les Meſures phyſiques.

LA plûpart de nos machines de phyſique, ne ſont que des meſures d'effets. Le perfectionnement de la Phyſique augmente tous les jours le nombre de ces meſures; ou plutôt, c'eſt par leur augmentation que la phyſique a tant gagné depuis un ſiècle, et qu'elle gagne encore chaque jour: nous voyons s'accroitre le catalogue de nos *mètres*, à meſure que ſes diverſes branches ſe développent et s'étendent. Peu contens aujourd'hui d'appercevoir, de conjecturer, de faire des ſyſtèmes dans ce qu'on appelle improprement le poſſible, et qui n'eſt que la région des chimères, nous entreprenons de découvrir les cauſes par leurs effets, en

to inveſtigate cauſes through their effects, by meaſuring theſe wherever nature gives us a ſufficient hold, in order not to be deceived by ſemblances of truth.

The firſt rays of this light, the dawn of all true knowledge in philoſophy, were extremely weak. At firſt philoſophers were ſatisfied with having inſtruments which indicated the exiſtence of certain cauſes that our organs could either not diſcover at all, or diſcovered very imperfectly. Hence the modeſt names given by the firſt inventors to their inſtruments. They called only Baroſcopes, Thermoſcopes, Microſcopes, thoſe inſtruments which were intended to ſhow the weight of the air, the dilatation of bodies by heat, the objects which eſcaped the naked eye.

These

---

en meſurant ceux-ci, partout où la nature nous donne quelque priſe, pour n'être pas trompés par des *apperçus*.

Les prémiers rayons de cette lumière, qui étoient l'aurore des vrayes connoiſſances en phyſique, furent d'abord très foibles. On ſe trouva bien content d'avoir des machines qui fiſſent appercevoir ſurement l'exiſtence de certaines cauſes, que nos organes ſeuls ne pouvoient découvrir, ou ne découvroient que très imparfaitement. De là les dénominations modeſtes que les prémiers inventeurs donnèrent à leurs machines. Ils n'appellèrent que Baroſcopes, Thermoſcopes, Microſcopes, leurs inſtrumens deſtinés à montrer, le poids de l'air, la dilatation des corps par la chaleur, les objets qui échappent à la vue.

On

Theſe names were too ſoon changed, in calling *meaſures* what was not yet ſuch; but we every day become more delicate with reſpect to the conditions they require; and the progreſs made towards perfecting them, are the moſt effectual ſteps which have been made towards the knowledge of Nature; for it is they that have given us a diſguſt to the jargon of ſyſtems, founded upon mere hypotheſes or deceitful appearances, the conſequences of which were ſpreading faſt into metaphyſics, in which it occaſioned general confuſion.

The improvement of phyſical meaſures does not only lead us to a better knowledge of the immediate cauſes of the effects thus meaſured, but it aſſiſts us in decompoſing complex effects, and eſpecially in diſcovering and determining the ſimultaneous effects which I ſhall hereafter name the co-effects of the ſame cauſes.

When

On a changé trop tôt la terminaiſon de ces noms et de bien d'autres ſemblables, en qualifiant de *meſure* ce qui ne l'étoit point encore. Mais chaque jour on devient plus délicat ſur les conditions qu'elles exigent; et les progrès vers leur perfection, ſont les pas les plus réels qu'on aît faits vers la connoiſſance de la Nature: car ce ſont ceux qui ont le plus contribué à nous dégouter du jargon des ſyſtèmes fondés ſur des hypotheſes ou des apparences trompeuſes, dont les conſéquences paſſoient en foule dans la Métaphyſique, et y boulverſoient tout.

Le perfectionnement des Meſures phyſique ne nous conduit pas uniquement à mieux connoitre les cauſes immèdiates des effets méſurés; mais il nous aide à décompoſer les effets complexes, et ſurtout à découvrir et déterminer les effets ſimultanés, que je nommerai dans la ſuite les co-effets des mêmes cauſes.

Quand

When from experiments, ſometimes very nice, we have aſſured ourſelves that two or more effects conſtantly go together in certain relations, we may content ourſelves with obſerving the moſt evident of them, and depend upon the exiſtence of the others, as if they were immediately obſerved. This leads us from relation to relation to the diſcovery of operations of Nature which before were entirely hidden: and nothing can be more uſeful to man, than ſometimes to examine, how he reaſoned upon thoſe objects before he was guided by experience.

Theſe inſtances of the connections of effects, diſcovered, and afterwards meaſured one by the other, are now become ſo frequent in natural philoſophy that it would be uſeleſs to inſiſt upon them: and indeed when one conſiders our phyſical inſtruments, one may ſee that the greateſt part

---

Quand par des expériences, ſouvent très délicates, nous nous ſommes aſſurés que deux ou pluſieurs effets marchent toûjours enſemble dans certains rapports, nous pouvons nous contenter d'obſerver le plus évident, et compter ſur l'exiſtence des autres comme s'ils étoient immédiatement manifeſtes; ce qui nous conduit, de rapport en rapport, à découvrir des opérations de la Nature, qui avant cela nous étoient entièrement voilées: et rien n'eſt plus néceſſaire à l'Homme, que d'examiner quelquefois comment il en raiſonnoit avant qu'il eût ces ſécours.

Les exemples de ces liaiſons d'effets, découverts, et meſurés enſuite les uns par les autres, ſont aujourd'hui ſi multipliés dans la Phyſique, qu'il ſeroit inutile d'inſiſter ſur ce point: et quand on conſidère même l'enſemble de nos machines de

part of them are intended only for the diſcovery of co-effects, by the knowledge of thoſe which are more evident. Our ſearch after new meaſures has likewiſe the ſame end in view. If we wiſh for an Hygrometer, an Electrometer, a Photometer, it is leſs with a deſign of arriving by means of them to a knowledge of the abſolute or relative quantities, of moiſture, of electric fluid, of light, than to endeavour afterwards to connect the perceptible effects of theſe cauſes upon our meaſures, with other leſs evident effects, but which depend upon them, either as ſeparate co-effects, or as modifications of other effects.

With all this the general problem of phyſical meaſures is a complicated one from the firſt outſet. The firſt object of all theſe meaſures is to know the exiſtence of a ſimple cauſe and of its degrees of intenſity; and we have

---

de phyſique, on voit que le plus grand nombre n'eſt deſtiné qu'à déterminer des co-effets, par la connoiſſance de ceux qui ſont le plus évidens. La plûpart auſſi de nos recherches de nouvelles meſures tendent à ce même but. Si nous deſirons un Hygromètre, un Electromètre, un Photomètre, c'eſt moins pour connoitre, en les obſervant, les quantités abſolues ou rélatives de l'humidité, du fluide électrique, de la lumiére; que pour travailler enſuite à lier les effets évidens de ces cauſes ſur nos meſures, à d'autres effets moins évidens qui en dépendent, ou comme co-effets ſeparés, ou comme modifications d'autres effets.

Cependant le problème général des meſures phyſiques eſt compliqué dès ſon premier pas. Connoitre l'exiſtence d'une cauſe ſimple et ſes degrès d'intenſité, eſt

have nothing to come at it, but the effects which this cauſe produces upon other bodies, which, for the moſt part, do themſelves comprehend a great number of other cauſes. We can never therefore, obſerve effects abſolutely ſimple; and conſequently, ſenſible effects which are equal amongſt themſelves, do not point out degrees likewiſe equal amongſt themſelves in the cauſe to which they are attributed. What, for inſtance, are our meaſures of heat? The dilatations of bodies. What our meaſures of the weight of the air? The height of the quickſilver in the Barometer. But the dilatation of bodies by heat depends upon the nature of bodies, as well for its quantity, as for the law of its progreſſion by equal augmentations of heat; and the effects of the weight of the air upon the quickſilver of the Barometer, are modified by the different degrees of the heat of this liquid, by

---

eſt le prémier objet de toutes ces meſures; et nous n'avons pour y arriver, que les effets que produit cette cauſe ſur certains corps, qui déja eux-mêmes renferment le plus ſouvent une multitude d'autres cauſes. Jamais donc nous ne pouvons obſerver des effets abſolument ſimples; et par conſéquent, des effets ſenſibles qui ſont égaux entr'eux, ne marquent point des degrés, auſſi égaux entr'eux, dans la cauſe à laquelle nous les attribuons. Qu'eſt-ce par exemple que nos meſures de la chaleur? Ce ſont les dilatations des corps. Qu'éſt.ce que la meſure du poids de l'air? C'eſt la hauteur du mercure dans le Baromètre. Et déja la dilatation des corps par la chaleur dépend de leur nature, tant pour ſa quantité, que pour la loi de ſes progrés par des augmentations égales de la chaleur: et l'effet du poids de l'air ſur le mercure du Baromètre eſt modifié, par les divers degrès

by the nature of the *vacuum* in which it is ſuſpended, by the attraction of the glaſs, by the friction, perhaps by the permeability of glaſs to ſome particles of that mixed fluid to which we give the general name of air, or by various other cauſes that are equally unknown to us. The ſame holds true with regard to all other phyſical meaſures; and this firſt ſtep of the ladder, by which we ſtrive to raiſe ourſelves to the knowledge of cauſes, is already very difficult to aſcertain.

The ſecond, however, is much more ſo, ſince it depends upon determining the co-effects of the ſame cauſes, either in the ſame or in different bodies. Thus when we ſhall be poſſeſſed of an Hygrometer, we ſhall endeavour to find out what effects this *humor*, whoſe preſence and degrees will be indicated by the inſtrument, produces

---

degrés de chaleur de ce liquide, par la nature du vuide dans lequel il eſt ſuſpendu, par l'attraction du verre, par le frottement; et peut-être encore par la perméabilité du verre à quelques particules de ce que nous appellons en général l'air, ou par d'autres cauſes qui nous ſont également inconnues. Il en eſt de même de toutes les autres meſures phyſiques; et ce premier échellon, par lequel nous cherchons à nous élever à la connoiſſance des cauſes, eſt déja très difficile à bien aſſurer.

Mais le ſecond l'eſt bien advantage. Il conſiſte à déterminer les co-effets des mêmes cauſes, ou dans les mêmes corps, ou dans des corps différens. Ainſi, quand nous aurons un Hygromètre, nous chercherons à ſavoir quel effet produit, ſur l'yvoire qui s'allonge, ſur les ſels dont le poids augmente, ſur la denſité de l'air produces upon ivory which lengthens, upon ſalts whoſe weight increaſes, upon the denſity of the air which varies, upon its ſalubrity, its refringent power, &c.

But even when this is done, we ſhall be embaraſſed by the degrees of theſe co-effects; probably they will not all increaſe in the ſame proportions as the dilatations of the ivory, or the augmentations of the weight of an abſorbant body; and a great many experiments will be neceſſary to diſcover the laws they obſerve by the different intenſities of this common cauſe.

It is notwithſtanding upon relations of this ſort, that every thing depends in experimental philoſophy and indeed in all true philoſophy. Conſequently, the perfecting the methods of determining theſe relations muſt be a principal object with all good philoſophers. I will not

---

l'air qui varie, ſur ſa ſalubrité, ſur ſa vertu refringente, cette *humor* dont la préſence et les degrés ſeront indiqués par l'inſtrument.

Mais alors encore les degrés des co-effets nous embarraſſeront: il ne croitront pas vraiſemblablement dans les mêmes rapports que les dilatations de l'yvoire, ou les augmentations de poids d'un corps abſorbant; et il faudra bien des expériences pour découvrir les loix qu'ils ſuivent par les différentes intenſités de cette cauſe commune.

C'eſt cependant à des rapports de ce genre que tout ſe réduit dans la phyſique experimentale, et par cela même dans la bonne phyſique ſpéculative qui ne ſe paye pas de mots. Par conſequent le perfectionnement des méthodes pour déterminer ces rapports, doit être un des objets de la plus grande attention des Phyſiciens.

not enter into the methods which lead us ſtep by ſtep to the diſcovery of the correſponding progreſſions of co-effects of the ſame cauſes: it would be too difficult to generalize them whenever one went beyond that fundamental principle of all ſcience, ſound logic; and, what is the beſt preſervative againſt precipitation, the knowledge of the weakneſs of our organs and of our underſtanding.

But it is not always practicable to trace in all its points, the curve that is deſcribed by a ſeries of correſponding phenomena; and we are often forced to content ourſelves with conſidering as proportional in all degrees of intenſity of the cauſe, ſome relations that have been either obſerved or found by experiment. This expedient one is likewiſe often reduced to in practice, in order not to complicate proceſſes without reaſon. Thus, for

---

ficiens. Je ne m'arrêterai pas à celles qui conduiſent à découvrir pas à pas les marches correſpondantes des co-effets des mêmes cauſes: il ſeroit trop difficile de les généraliſer dès qu'on voudroit aller au de là de ce principe fondamental de toute ſcience, une bonne logique; et de ce préſervatif contre la précipitation, la connoiſſance de la foibleſſe de nos organes et de notre intelligence.

Mais il n'eſt pas toûjours poſſible de tracer par tous leurs points, les courbes que décrivent les ſuites des phénomènes correſpondants; et l'on eſt ſouvent réduit à ſe contenter de regarder comme proportionnels dans tous les degrès d'intenſité de la cauſe, quelques rapports obſervés ou trouvés par l'expérience. C'eſt même un expédient auquel on eſt le plus ſouvent réduit dans la pratique, pour n'y pas compliquer les procèdés ſans avantage. Ainſi dans le Pendule, comme dans mon

Hygromètre,

for inſtance, in the Pendulum and in my Hygrometer, if one would take notice of the different laws which follow, in their dilatations by heat, the ſubſtances whoſe effects one means to compenſàte the one by the other, beſides the difficulty of finding theſe laws, the application might perhaps throw us into mechanical complications, that would deſtroy all the exactneſs we want to produce by theſe means.

In general, the fixing of laws is ſcarce ever the firſt ſtep taken in new diſcoveries. One begins by eſtabliſhing by experiment ſome fundamental relations, and one conſider afterwards the correſponding points of the phenomena as being proportional, till be degrees, overcoming the difficulties, one becomes to grow familiar with what one uſed to look upon before as great ſtrides; and one perceives

---

Hygromètre, ſi l'on vouloit avoir égard aux differentes loix que ſuivent dans leurs dilatations par la chaleur, les matières dont on cherche à compenſer les effets les uns par les autres; outre la difficulté de découvrir ces loix, on ſe jetteroit peut-être dans des complications mécaniques, qui détruiroient toute l'exactitude qu'on vouloit chercher par ce moyen.

En général, dans toutes les nouvelles découvertes, les premiers pas ſont rarement des fixations de Loix. On établit quelque rapports fondamentaux par l'expérience, et l'on regarde les autres points correſpondans des phénomènes, comme proportionnels à ceux là; juſqu'à ce que, ſurmontant par degré les obſtacles, on ſoit parvenu à ſe familliariſer avec ce qu'on regardoit d'abord comme de grands pas perceives that there are greater ſteps that may and ought to be made.

It is uſeful, therefore, to conſider in what manner one might with ſome ſafety mark out theſe firſt ſketches of the laws of Nature, by finding the particular relations of the co-effects which might be applied with leaſt error to proportional ſcales. It will be contributing to bring forward the moment in which, ſeeing clearer into the nature of things, and having learnt to diſtinguiſh real knowledge from what has only the appearance of it, we ſhall be led to ſeek for exactneſs in every thing.

A prac-

---

pas, et à ſentir qu'il faut et qu'on peut aller plus loin.

Il eſt donc avantageux de conſidérer, comment on pourroit tracer avec quelque ſureté ces premières eſquiſſes des Loix de la Nature, en trouvant les rapports particuliers des co-effets qui s'appliqueroient avec le moins d'erreur à des échelles proportionnelles. Ce ſera accélèrer le moment, où, voyant plus clair dans la nature des choſes, et diſtinguant bien les connoiſſances réelles, d'avec ce qui n'en a que l'apparence, nous nous ſentirons conduits à chercher l'exactitude partout.

Moyen

A practical method of approximation in the determination of the co-effects of the ſame cauſes.

It has been thought hitherto, that in order to leſſen the effects of the errors which are unavoidable in obſervations and experiments, one ought to look for the relations of the co-effects at the greateſt poſſible diſtances; becauſe in that caſe the errors being divided upon a greater ſpace, each ſeparate part is leſs affected by them. Thus, in order to find the relation of the dilatations of braſs and ſteel employed in the Pendulum, one would willingly expoſe theſe metals to an artificial congelation and to the heat of boiling oil, that, by meaſuring greater lengthenings,

---

Moyen pratique d'approximation, dans la fixation des rapports des co-effets des mêmes cauſes.

On a imaginé juſqu'ici, que pour diminuer les effets des erreurs inévitables dans les obſervations et les expériences, il falloit chercher les rapports des co-effets aux plus grandes diſtances poſſibles; parce que ces erreurs ſe diviſant ſur un plus grand intervalle, deviennent plus inſenſibles ſur chacune de ſes parties. C'eſt ainſi que pour trouver le rapport des dilatations du léton et de l'acier qu'on employe au Pendule, on expoſeroit volontiers ces métaux à une congélation artificielle et à la chaleur de l'huile bouillante; afin que pouvant meſurer de plus grands lengthenings, the imperfection of the meaſure might become inſenſible in the determination of their relation.

This method is indeed very good to compare with each other effects, the progreſſions of which are proportioned; and one is right to make uſe of it whenever extent or weight is concerned. But it is often very deceitful in phyſics: for as the co-effects ſeldom go by proportional degrees, the more the obſerved points of their relations are diſtant, the more the deviations become conſiderable in the intermediate points, when they are conſidered as proportional to the whole. It is thus that two different curves, which cut each other in two points, deviate the more from each other in the ſpace comprized between the two interſections, the more diſtant the points of interſection are from each other. Now the correſpondent points, taken by obſervation in two ſeries of phenomena which

---

grands allongemens, l'imperfection de la meſure devînt inſenſible dans la fixation de leur rapport.

Cette méthode ſeroit très bonne pour comparer entr'eux des effets qui auroient des marches proportionnelles; et on l'employe avec raiſon quand il s'agit de l'étendue ou des poids: mais elle eſt le plus ſouvent fort trompeuſe en Phyſique. Car dès que les co-effets marchent rarement par degrés proportionnels, plus les points obſervés des rapports ſont diſtans, plus les écarts deviennent grands dans les points intermédiaires, en les regardant comme proportionnels au rapport total. C'eſt ainſi que deux courbes différentes qui ſe croiſent en deux points, s'écartent d'autant plus l'une de l'autre dans l'intervalle des deux interſections, que ces points de rencontre ſont plus éloignés. Or les points correſpondans par obſervation,

which follow different laws, are the interſections of the curves; and the errors we make in the intermediate relations when we conſider them as proportional, are like the deviations of the two curves in the interval of the interſections.

The effect then intended to be produced by taking very diſtant points of compariſon being, in general, to accumulate within the intervals of theſe points the deviations of the laws which happen to be different; much will be gained, in thoſe caſes in which the laws themſelves cannot be diſcovered, by ſeeking for points of compariſon within the leaſt diſtances that the particular obſervations, for which the phyſical meaſures are intended, will allow.

It is thus that we have happened to have uſed for a long time Thermometers of quickſilver and ſpirits of wine, in

---

tion, de deux ſuites de phénomènes qui ſuivent des loix différentes, ſont les interſections de ces courbes; et les erreurs qu'on fait dans les rapports intermédiaires en les conſidérant comme proportionnels, ſont comme les écarts des deux courbes dans l'intervalle des interſections.

L'effet de prendre des points de comparaiſon fort diſtans, étant donc en général, d'accumuler dans l'intervalle de ces points les écarts des Loix qui ſe trouvent différentes, on gagnera beaucoup, dans les cas où l'on ne pourra pas découvrir les Loix elles-mêmes, à chercher des points de comparaiſon dans les moindres diſtances que puiſſent comporter les obſervations particulières auxquelles on deſtinera les Meſures phyſiques.

C'eſt ainſi que par hazard on a eu longtems des Thermomètres de mercure in which the difference of the progreſſions between theſe two liquids in their dilatations by heat was not obſerved. Mr. DE REAUMUR's Thermometer, one of the firſt to which one endeavoured to aſſign fixed points, was too difficult in its conſtruction for each Thermometer to be immediately graduated; and indeed the author himſelf only uſed his method in making ſtandards to which the Thermometers intended for common uſes were afterwards compared. Abbé NOLLET, his diſciple, who for a long time gave the *ton* for Thermometers in France and in the Southern countries, followed his maſter's method. The only immediate point he marked upon his Thermometers was that of *freezing*; and he compared them afterwards in water of 30° of that ſcale in which the real interval between the *freezing* and *boiling points* ought to be divided into about 100°. By this method,

---

mercure et d'eſprit de vin où l'on ne remarquoit pas les différences de marche de ces deux liquides. Le Thermomètre de M^r DE REAUMUR, l'un des premiers auxquels on aît tenté de donner des points fixes, étoit trop difficile à conſtruire, pour que chaque Thermomètre pût être gradué immédiatement. Auſſi l'auteur lui-même n'employoit-il ſa méthode qu'à faire des étalons, auxquels il comparoît enſuite les Thermomètres deſtinés aux uſages ordinaires. M^r l'Abbé NOLLET, ſon diſciple, qui pendant long tems a donné le ton pour les Thermomètres, tant en France que dans les pays méridionaux, ſuivit la méthode de ſon maitre: il ne marquoit immédiatement ſur ſes Thermomètres, que le point de la congélation; et il les comparoit enſuite dans de l'eau à 30° de cette échelle là, où 100° environ, diviſoient l'intervalle réel de la congélation à l'eau bouillante. Par

thod, and at that period in which natural philoſophy was ſtill very inaccurate, one did not obſerve the difference between the progreſſions of ſpirits of wine and quickſilver; and in fact it was eaſy to miſtake them. I have ſhewn it in ſpeaking of theſe Thermometers, and I ſhall have occaſion to ſhew it more fully very ſoon.

This doubtleſs was a defect, and a very conſiderable one, whether we conſider that the Thermometer is intended to indicate degrees of heat, both much larger and much ſmaller than the interval between theſe 30°; or that it is a moſt capital inſtrument in natural philoſophy, and as ſuch may be uſed in experiments where the leaſt defects may have ſenſible conſequences. For theſe reaſons I only mention this caſe, as an help for me to explain what I propoſe to ſay upon other inſtruments in which

---

Par cette méthode, et dans ce tems là où la Phyſique étoit encore fort peu exacte, on ne remarquoit pas la différence des marches du mercure et de l'eſprit de vin, & l'on pouvoit en effet s'y méprendre. Je l'ai montré en traitant de ces Thermomètres, et je le montrerai plus particulièrement bientôt.

C'étoit là ſans doute un défaut, et un défaut très grand; ſoit parce que le Thermomètre eſt deſtiné à indiquer des degrés de chaleur bien plus grands et bien moindres que l'intervalle de ces 30°; ſoit parce que c'eſt un inſtrument fondamental en Phyſique, qui peut être employé à des expériences où le moindre défaut auroit des effets ſenſibles. Auſſi ne rapporté-je ce cas, que pour m'expliquer

plus

which a greater degree of exactneſs would be either uſeleſs or impoſſible.

Simple and evident as this principle is, yet, as it often happens that obvious ideas do not ſtrike, even becauſe their being obvious gives them a trivial air, I will ſtrengthen this by uſeful examples, and one offers itſelf to which I have been led by the foregoing.

Suppoſe one wants to know the dilatations of ſpirit of wine by heat, in order to have regard to it in eſſaying the ſpirituoſity of vinous liquors, which is wont to be eſtimated by their ſpecific gravities; an article as every one knows of much conſequence in the brandy trade, and which has likewiſe ſome connection with chemiſtry: I ſay, that one would make a conſiderable error if, in order to determine the relations of the dilatations of the brandy with the indications of the quickſilver Thermometer, which ſhould

---

plus aiſément dans ce que je me propoſe de dire ſur ceux où une plus grande exactitude ſeroit ou inutile ou impoſſible.

Quelque ſimple et évidente que ſoit cette règle, comme il arrive ſouvent que les idées ſimples ne frappent point, préciſément à cauſe de leur ſimplicité qui leur donne un air trivial, je fortifierai celle-ci par des exemples utiles. Et en voici un d'abord, auquel l'exemple précédent m'a conduit.

Je ſuppoſe qu'on veuille connoitre les dilatations de l'eſprit de vin par la chaleur, afin d'y avoir égard dans la meſure de la ſpirituoſité des liqueurs vineuſes, eſtimée par leur peſanteur ſpécifique; objet important au commerce conſidérable des eaux de vie, et qui intéreſſe auſſi la chimie. Je dis qu'on feroit un grand écart, ſi, pour déterminer le rapport des dilatations de l'eſprit de vin, avec les indications du Thermomètre de mercure, qui ſerviroit enſuite à marquer la tem-

pérature

ſhould afterwards mark the temperature of this liquor, one was to take terms very diſtant from each other, as for inſtance the freezing and boiling points; whilſt on the other hand, by keeping within the temperatures in which the trials ſhould be made, one would come ſo near the truth, that the differences would be imperceptible.

This inſtance, in itſelf uſeful, being proper to be applied to every caſe in which we wiſh to compare with one another phyſical effects which depend upon the ſame cauſe, that we may afterwards judge of them all by one, I ſhall dwell upon it a little while to give a full explanation of it.

I ſuppoſe that the experiments intended to eſſay the ſpirituoſity of different liquors diſtilled from wine, by the ſpecific gravities of them, are made between the temperatures which anſwer to 32° and 77° of

---

pérature de cette liqueur, on prenoit des termes fort éloignés, comme la congélation et l'eau bouillante: tandis qu'au contraire, en ſe renfermant dans les températures où les épreuves ſeroient faites, on approcheroit ſi fort de la vérité, que les différences ſeroient imperceptibles.

Cet exemple ayant quelque utilité par lui-même, et pouvant être appliqué à toute ſorte de cas où l'on compare entr'eux des effets phyſiques dépendants d'une même cauſe, pour juger enſuite de tous par un ſeul, je m'y arrêterai afin de le mieux éclaircir.

Je ſuppoſerai que les expériences deſtinées à éprouver les degrés de ſpirituoſité des diverſes liqueurs diſtillées du vin, par leur peſanteur ſpécifique, ſe feront entre les températures qui correſpondent à 32° et 77° ſur le Thermomètre de FAHRENHEIT

of FAHRENHEIT's Thermometer, as this takes in all the ordinary caſes. The queſtion is, to examine which is the moſt convenient method of introducing into this meaſure an equation for the differences of the heat; an equation I mean which does not occaſion uſeleſs difficulties.

Theſe temperatures 32° and 77° upon FAHRENHEIT's Thermometer, correſpond with 0 and 20° upon the ſcale of which I have hitherto ſpoken, in which the boiling point is at 80° and the freezing at 0. I ſhall ſpeak of this ſcale, becauſe it is the one I made uſe of in my experiments on the progreſſions of liquors diſtilled from wine in their dilatations by heat, and of which I have given an account in my work abovementioned(*d*).

(*d*) Vol. I. p. 326.

I ſuppoſe

RENHEIT, ce qui renfermera tous les cas ordinaires. Il s'agit donc d'examiner quelle ſera la route la plus convenable, pour introduire dans cette meſure une équation pour les différences de la chaleur, equation qui n'occaſione pas de trop grandes difficultés, ſans utilité dans la pratique.

Ces températures 32° et 77° ſur le Thermomètre de FAHRENHEIT, correſpondent à 0 et 20° ſur l'échelle dont j'ai parlé juſq'ici, où l'eau bouillante eſt à 80° et l'eau dans la glace à 0. J'employerai encore cette échelle, parce que c'eſt celle dont je me ſuis ſervi dans les expériences que j'ai faites autrefois ſur la marche des liqueurs diſtillées du vin, dans leurs dilatations pour la chaleur; expériences que j'ai rapportées dans mon ouvrage cité ci-deſſus (*d*).

(*e*) Tom. I. p. 326.

Je

I ſuppoſe that, according to the uſual method, ſeeking for the dilatations of the ſpirituous liquor by great differences of heat, one was to compare its bulk in ice that melts and in boiling water, and that not knowing, or not regarding, the different progreſſions of this liquor and quickſilver in their reſpective dilatations, nor the effect which the difference of ſpirituoſity produces in this reſpect, one ſhould conſider theſe progreſſions as proportional. Here are the deviations one would be expoſed to in the limits of the temperatures to which the rule ſhould be applied, I mean between 0 and 20°.

The numbers which are placed in the two columns of the ſpirituous liquors indicate the proportions of the augmentations of their bulks by the temperatures indicated by the quickſilver Thermometer. I have given to the total ſcale of theſe proportions the ſame number of

---

Je ſuppoſe d'abord que ſuivant l'uſage ordinaire, cherchant les dilatations de la liqueur ſpiritueuſe par de grandes différences de chaleur, on comparât ſes volumes dans la glace qui fond et dans l'eau bouillante; et qu'ignorant ou négligeant la différence de marche de cette liqueur et du mercure dans leurs dilatations, ainſi que l'effet que produit même à cet égard la différence de ſpirituoſité, on regardât ces marches comme proportionelles; voici les écarts dans leſquels on tomberoit, dans les limites des températures où l'on appliqueroit la régle; c'eſt à dire de 0 à 20°.

Les nombres placés dans les deux colonnes des liqueurs ſpiritueuſes, marquent les rapports de leurs augmentations de volume par les températures indiquées ſur le Thermomètre de mercure. J'ai donné à l'échelle totale de ces rapports le même

of equal parts as to the Thermometer, in the ſame interval of temperature, in order that their differences within this interval may be viſible without calculation.

Quickſilver Therm.	Spirit of wine which fires gunpowder.	Brandy, of 2 parts flegm and 3 of this ſpirit of wine.
80	80	80
. . . . .	. . . . .	. . . . .
20	16,5	15,9
15	12,2	11,8
10	7,9	7,7
5	3,9	3,8
0	0	0

One ſees what deviations in general ariſe from the diſtance of the points of compariſon when one comes to apply

---

même nombre de parties égales qu'à celle du Thermomètre dans le même intervalle de température, afin que les différences en dedans de cet intervalle s'apperçoivent à l'oeil ſans calcul.

Thermomètre de mercure.	Eſprit de vin qui brule la poudre.	Eau de vie faite de 2 parties de flegme, ſur 3 parties de cet eſprit de vin.
80	80	80
. . . . .	. . . . .	. . . . .
20	16,5	15,9
15	12,2	11,8
10	7,9	7,7
5	3,9	3,8
0	0	0

On voit quels écarts reſultent en général de la diſtance des points de comparaiſon, apply them to the temperatures in which one preciſely wants the moſt exact proportions. One likewiſe may ſee that the difference of ſpirituoſity only, occaſions very ſenſible ones in the progreſſions of the two ſpirituous liquors, and that conſequently one would commit a double error, if one were to conſider the intermediate relations as proportional to the total relation, eſtabliſhed between quickſilver and one of theſe liquors, only by obſervations made in very different temperatures.

If, on the contrary, the fundamental experiments had been made at the probable limits of the obſervations, that is at o and at 20° of the Thermometer, having then the real dilatation, between theſe two temperatures, of the ſpirituous liquor which ſerved for the experiment, there would be only theſe ſmall deviations, expreſſed by the compariſon

---

raiſon, quand on vient à les appliquer aux températures où l'on avoit beſoin préciſément des rapports les plus exacts. On voit auſſi que la différence ſeule de ſpirituoſité, en produit de très ſenſibles dans la marche des deux liqueurs ſpiritueuſes; et que par conſéquent ont tomberoit doublement dans l'erreur, en regardant ces rapports intermédiaires comme proportionnels au rapport total, établi entre le mercure et une ſeule de ces liqueurs par des obſervations à de grandes différences de température.

Si au contraire on eût fait les expériences fondamentales aux limites probables des obſervations, c'eſt à diré à 0 et à 20° du Thermomètre; ayant alors la dilatation réelle, entre ces deux températures, de la liqueur ſpiritueuſe qui eût ſervi à l'expérience, on n'auroit à craindre que les écarts exprimés par les rapports des nombres

compariſon of the following numbers, in which the total dilatation of the ſpirituous liquors is again divided into the ſame number of equal parts with that of the quickſilver in the Thermometer.

Therm.	Dilat. of ſpirit of wine.	Dilat. of brandy.
20	20	20
15	14,8	14,8
10	9,6	9,7
5	4,7	4,8
0	0	0

The ſeries of numbers which expreſs the dilatations of the two ſpirituous liquors remain in the ſame proportions as in the firſt caſe, and conſequently this is always the reſult of the experiment. But theſe proportions come already

---

nombres ſuivans, où la dilatation totale des liqueurs ſpiritueuſes eſt encore diviſée en un même nombre de parties égales, que celle du mercure dans le Thermomètre.

Therm.	Dilat. de l'eſprit de vin.	Dilat. de l'eau de vie.
20	20	20
15	14,8	14,8
10	9,6	9,7
5	4,7	4,8
0	0	0

Les ſuites des nombres qui expriment les dilatations des deux liqueurs ſpiritueuſes reſtent dans les mêmes rapports que dans le premier cas; et par conſéquent c'eſt toûjours le reſultat de l'expérience. Cependant ces rapports ſont déja ſi près

ready ſo near to the progreſſion of the quickſilver Thermometer itſelf, that the effect of the differences of the ſpirituoſity almoſt entirely vaniſhes; ſo that there would be little error in taking as proportional to the total augmentation of bulk at 20° of a certain liquor diſtilled from wine, the intermediate dilatations of every other liquor of the ſame kind.

It is poſſible, however, ſtill to leſſen theſe errors, without having more than two terms of compariſon by experience, by taking theſe terms within the limits of the probable obſervations, and that for two reaſons. The firſt, that the more numerous obſervations will probably be made nearer the points where true proportions have been found by experience. The other, that the greateſt deviation will be ſtill more leſſened, by throwing part of the errors beyond the two real points of compariſon, in order

---

ſi près de la marche du Thermomètre même, que l'effet des différences de ſpirituoſité s'évanouit preſque entièrement; et qu'il y auroit peu d'erreur à regarder comme proportionnelle à l'augmentation totale de volume à 20° d'une certaine liqueur diſtillée du vin, les augmentations intermédiares de toute autre liqueur du même genre.

On peut cependant diminuer encore ces erreurs, ſans avoir plus de deux termes de comparaiſon par l'expérience, en prenant ces termes en dedans même des limites des obſervations probables; et cela par deux conſidérations. La prémière que les obſervations les plus nombreuſes ſe trouveront probablement plus près des vrais rapports fixés par l'expérience; l'autre que le plus grand écart diminuera encore, order to leſſen the accumulation of them within theſe points.

If, for inſtance, inſtead of obſerving from o to 20° the increaſe of the bulk of the ſpirituous liquor which is to ſerve as a rule, one obſerves it from 5° to 15°, one will have the following proportions, in which the progreſſion of the two liquors ſtill continue within their real proportions, as I ſhall ſhew in the ſequel.

Therm.	Dilat. of the ſpirits of wine.	Dilat. of brandy.
20	20,2	20,1
15	15	15
10	9,8	9,9
5	5	5
0	0,3	0,3

It

---

en rejettant une partie des erreurs au delà des deux points réels de comparaiſon, pour en diminuer l'accumulation entre ces points.

Si par exemple, au lieu d'obſerver de o à 20° l'augmentation de volume de la liqueur ſpiritueuſe qui doit ſervir de règle, on l'obſerve de 5° à 15°, on aura les rapports ſuivans, où les marches des deux liqueurs reſtent encore dans leurs proportions réelles, ce que je montrerai dans la ſuite.

Therm.	Dilat. de l'eſprit de vin.	Dilat. de l'eau de vie.
20	20,2	20,1
15	15	15
10	9,8	9,9
5	5	5
0	0,3	0,3

On

It is evident then, that there is no longer any ſenſible error ariſing from the differences of ſpirituoſity, which is already a capital advantage in the caſe propoſed as an example; in which, ſince what one wants to know is the degree of ſpirituoſity of a liquor, one cannot ſuppoſe it known before hand, in order to have regard to it in ſeeking for it. One likewiſe ſees in general, that there is ſcarce any error to apprehend, even in conſidering the augmentation of the bulk of theſe liquors, or the diminution of their ſpecific gravities, as being proportional to the indication of the quickſilver Thermometer.

Here is then tne method in which, according to this principle, I would conſtruct the comparative *Areometer*, that is ſuch a one as might be made the ſame every where. I chuſe this example becauſe it will afford me other applications of the general rule.

Project

On voit donc qu'il n'y a plus d'erreur ſenſible réſultante des différences de ſpirituoſité; et c'eſt d'abord un avantage capital dans le cas propoſé pour exemple, où, cherchant à connoitre le degré de ſpirituoſité d'une liqueur, on ne peut pas la ſuppoſer d'avance pour y avoir égard en la meſurant. On voit auſſi en général, qu'il n'y a preſque plus d'erreur à craindre, même en regardant l'augmentation de volume de ces liqueurs, ou leur diminution de peſanteur ſpécifique, comme proportionnelles à l'indication du Thermomètre de mercure.

Voici d'après ce principe, comment je conſtruirois l'Aréomètre comparable; c'eſt-à-dire celui qu'on pourroit faire de même partout. Je choiſis cet exemple, parce qu'il me fournira encore d'autres applications de la règle.

Id

Project of a comparable Areometer.

I would uſe an Areometer of the moſt common conſtruction(f). It is an inſtrument nearly reſembling the glaſs of a Thermometer; that is, a tube with a hollow ball at one end. The property of this inſtrument is, that it ſinks the deeper into liquids, the more their ſpecific gravity decreaſe. But that it may become a common meaſure of this ſpecific gravity, certain fixed points and determined degrees muſt be aſcertained upon it.

I would make this Areometer of glaſs, as being the ſubſtance which undergoes the leaſt change of bulk by heat, and the changes of which are the moſt regular, at

---

(f) See fig. 3. and its explanation.

leaſt

Idée d'un Aréomètre comparable.

J'emploierois la forme d'Aréomètre qui eſt la plus commune *(f)*. C'eſt un inſtrument à peu près ſemblable au verre d'un Thermomètre, c'eſt à dire compoſé d'une boule creuſe, et d'un tube qui lui eſt joint. La propriété de cet inſtrument eſt de s'enfoncer d'autant plus dans les liquides, que leur peſanteur ſpecifique eſt moindre. Mais pour qu'il devienne une meſure commune de cette peſanteur ſpecifique, il faut qu'il aît des points fixes et des dégrés déterminés.

Je le ferois de verre; comme étant la matière qui éprouve le moins de changement dans ſon volume par la chaleur, et dont les changemens ſont les plus régu-

---

(f) Voyez la fig. 3. et ſon explication.

liers;

leaſt of all the ſubſtances which are not affected by humidity. I would always uſe flint-glaſs, that its changes in this reſpect might be more uniform in all the Areometers.

Its ball ſhould be one inch and an half in diameter, and there ſhould be at the bottom of it a little hollow cylinder, which ſhould communicate with it, and contain the ballaſt, in order that it might be able to keep upright, at the other end, a branch ſo much the longer; which will be eaſily underſtood. This ball ſhould not be very thick, any more than the ſuperior branch on which its diviſions ſhould be marked. The different thickneſſes of this branch, that is, its different external diameters, will produce the different ſenſibilities of the inſtrument. The leſs the diameter will be, the more will the Areometer

---

liers; du moins entre les matières que l'humidité n'affecte pas. Ce verre feroit toûjours le flint-glaſs, afin que ſes changemens à cet égard fuſſent plus uniformes dans tous les Aréomètres.

Je donnerois à ſa boule un pouce et demi de diamètre: et elle auroit à ſon fond un petit cylindre creux qui communiqueroit avec elle, et renfermeroit le leſt; afin de pouvoir maintenir de bout, au côté oppoſé, une branche d'autant plus longue; ce qu'on ſentira aiſément. Je ferois cette boule peu épaiſſe, ainſi que le tube ſuperieur, ou la branche ſur laquelle les diviſions devroient être marquées. Les différentes épaiſſeurs de cette branche, c'eſt à dire ſes différens diamètres extérieurs, feront les différentes ſenſibilités de l'inſtrument: plus ſon diamèter

ter ſink by an equal augmentation of the ſpirituoſity of the liquor.

Unleſs the branch be perfectly cylindrical, the meaſure would be irregular. It may be a thin braſs tube ſilvered over, or a ſilver tube, cemented to the ball of glaſs. Such metal tubes are eaſily drawn through holes as wires; ſo that one might be ſure to have them cylindrical. The dilatation of that tube by heat, beſides that it is too inconſiderable to be taken notice of, would combine itſelf with that of the liquor, of which I ſhall ſpeak hereafter.

I would ballaſt the inſtrument with quickſilver, in order to have it always ſtand upright in the ſame manner; and of this I would put in ſuch a quantity that the moſt ſpirituous liquor, being heated as much as it can be in the

---

mètre ſera petit, plus l'Aréométre s'enfoncera pour une même augmentation de ſpirituoſité de la liqueur.

Cette branche devroit être parfaitement cylindrique; ſans quoi elle introduiroit de l'irrégularité dans la meſure. On pourra la faire d'une tube de cuivre argenté ou d'argent, fort mince, cimenté avec la boule. On fait fort bien ces petits tuyaux de métal à la filière; ainſi on ſeroit ſûr de les avoir cylindriques; et quant à l'effet qu'y produiroit la chaleur, il peut être compté pour rien. D'ailleurs il ſe combinera avec celui que produira cette cauſe ſur la liqueur, et dont je parlerai ci-après.

Je leſterois l'inſtrument avec du mercure, pour qu'il ſe tînt toûjours de bout de la même manière; et je l'y mettrois en telle quantité, que la liqueur la plus ſpiritueuſe, échauffée autant qu'elle pourra l'être dans les expériences, laiſſât enfoncer

the experiments, may let the Areometer ſink nearly to the top of its branch. This branch ſhould at the ſame time be long enough that the leſs ſpirituous liquors, wine for inſtance, reduced to congelation, may let a ſmall part of it be immerſed.

The inſtrument being thus prepared, I would take ſome weak ſpirit of wine dilated with one part of water on ſix parts of ſpirits of wine which fires gunpowder or linen which is ſteeped in. I would then determine the ſpecific gravity of this ſpirit of wine at the temperature of 10° upon my Thermometer, or 54°½ of FAHRENHEIT'S, by means of a very nice hydroſtatical balance. This liquor, undetermined at firſt, and which I ſhould call only weak ſpirit of wine, on account of the intermination of the ſpirit which burns linen, will be determined as ſoon as a firſt Areometer ſhall have been conſtructed

---

foncer l'Aréomètre juſques près du haut de ſa branche; qui devroit être en même tems aſſez longue, pour que la liqueur la moins ſpiritueuſe, le vin par exemple, réduit à la congélation, en laiſsât encore enfoncer une petite partie.

L'inſtrument ainſi préparé, je prendrois un eſprit de vin foible, compoſé d'1 partie d'eau ſur 6 parties d'eſprit de vin qui brule la poudre, ou qui enflamme le linge dont il eſt mouillé. Je déterminerois la peſanteur ſpecifique de cet eſprit de vin, tandis qu'il feroit à la température 10° de mon Thermomètre, ou 54½° de celui de FAHRENHEIT, en employant pour cette détermination une balance hydroſtatique fort délicate. Cette liqueur, d'abord indéterminée, et que j'appellerai ſeulement eſprit de vin foible, à cauſe de l'indétermination de l'eſprit de vin qui brule le linge, ſera déterminée dès qu'on aura fait un prémier Aréomètre par

conſtructed on this plan. It will be then a ſpirit of wine, which, in the aforeſaid temperature, being eſſayed by the hydroſtatic balance, will weigh ſo much a cube foot: and every inſtrument-maker, who ſhall undertake to conſtruct ſuch Areometers, will be obliged to begin by compoſing this fixed liquor by the help of the hydroſtatic balance, in order to conſtruct his ſtandard. And indeed all I have farther to ſay upon the conſtruction of the ſcale of this inſtrument, relates merely to a ſtandard, to which the Areometers in uſe may be compared in order to form a ſcale.

For this purpoſe they may be dipped ſucceſſively in two liquids of very different ſpecific gravities, and ſuch that the ſtandard may indicate thoſe ſpecific weights by whole numbers of degrees, the difference of which may admit of a diviſion into aliquot parts: it will be very eaſy ſo to modify

---

par cette méthode; ce ſera de l'eſprit de vin, qui, étant à la température ſuſdite, et éprouvé à la balance hydroſtatique, pèſera tant par pied cube. Dès lors tout faiſeur d'inſtrumens qui voudra conſtruire originalement des Aréomètres, devra premièrement compoſer cette liqueur, par l'épreuve de la balance hydroſtatique, pour conſtruire ſon étalon. Car tout ce qui ſuit ne regardera plus en effet qu'un étalon, auquel les Aréomètres d'uſage ſeront ſimplement comparés pour former leur échelle.

A cet effet on les mettra ſucceſſivement enſemble dans deux liqueurs de peſanteur ſpécifique fort différentes, et telles que l'étalon indique ces peſanteurs ſpécifiques par des nombres entiers de degrés, dont la différence ſoit ſuſceptible d'être diviſée en parties aliquotes. Il ſera fort aiſé de compoſer ces deux liqueurs par des

modify thoſe two liquids by mixtures. And when the two points at which the intended Areometer ſtands in the two liquors, ſhall be marked upon it, the interval between them may be divided into the number of degrees indicated by the ſtandard. Here the two points of compariſon cannot be too diſtant from each other, at leaſt if the tubes of the two compared Areometers are cylindrical; for then their intermediate immerſions will always be proportionate to the obſerved immerſions. I point out this, in order to give an example of the inſtances in which the conſiderations, that are the object of this part, do not take place. It is the ſame as that in which Thermometers made of the ſame liquid are divided by compariſon.

I return to the ſtandard Areometer. I would dip it into this known ſpirit of wine, whilſt it is at the

---

des mélanges: et quand on aura marqué ſur l'Aréomètre à conſtruire les deux points où il ſe ſera tenu dans les deux liqueurs, on en diviſera l'intervalle dans le même nombre de dégrés indiqué par l'étalon. Ici les deux points de comparaiſon ne ſauroient être trop diſtans l'un de l'autre; ſi du moins les tubes des deux Aréomètres comparés ſont cylindriques: car alors leurs enfoncemens intermédiares ſeront toûjours proportionnels aux enfoncemens obſervés. Je le fais remarquer pour donner un exemple des cas où les conſidérations qui ſont l'objet de cette partie n'ont pas lieu. C'eſt le même que celui où l'on diviſe par comparaiſon des Thermomètres faits d'un même liquide.

Je reviens à l'Aréomètre étalon. Je le plongerois dans cet eſprit de vin connu, tandis qu'il ſeroit à la température fixée; et je marquerois avec un fil ſur ſa branche,

the fixed temperature, and would mark upon its branch, with a thread, the point to which it ſinks: afterwards I would mix three parts of water with ſeven parts of this ſame ſpirit of wine, to make a ſort of brandy ſtronger than the common; it would be the *three-fifths* of Languedoc, which conſiſts of two parts water and three parts ſpirit of wine that fires gun-powder. I would again dip the Areometer into it, at the ſame temperature, and would likewiſe mark this new point with a thread.

One may ſee that, according to the principle I have above eſtabliſhed, I take points of compariſon which are within the limits of the greateſt and ſmalleſt ſpirituoſity of the liquors to be tried, in order to obtain a ſcale of equal parts, free from any ſenſible error: and in this caſe that precaution is very neceſſary; for the degrees of ſpirituoſity

---

branche, le point où il s'enfonceroit. Puis je mêlerois à 7 parties de cet eſprit de vin, 3 parties d'eau, pour en faire une eau de vie plus forte que l'eau de vie commune; ce ſeroit le *trois quints* de Languedoc, qui doit être 2 parties d'eau ſur 3 parties d'eſprit de vin qui brule la poudre. J'y plongerois de nouveau l'Aréomètre dans la même température, et je marquerois auſſi ce nouveau point par un fil.

On voit que ſuivant le principe que j'ai établi ci-devant, je prends des points de comparaiſon en dedans de la plus grande et de la moindre ſpirituoſité des liqueurs qu'on éprouvera, pour obtenir une échelle en parties égales, ſans erreur ſenſible: et cela eſt bien néceſſaire ici; car les degrés de ſpirituoſité ne ſuivent pas rituoſity do not follow thoſe of ſpecific gravity, as I ſhall explain hereafter.

The points thus indicated upon the branch, having determined principles, will be the fixed points of the Areometer. The interval between them ſhall be divided into 30 equal parts, each of which will repreſent $\frac{1}{30}$th of the total effect of the added water upon the ſpecific gravity of the liquor. The ſequel will ſhew, that it is equally for the conveniency of trade, and of the workman who ſhall divide the ſcale, that I have choſen this number.

I ſuppoſe that the ſtandard will be conſtructed in ſuch a manner, that the difference of the ſinkings ſhall be conſiderable enough for this purpoſe, which may be obtained by making the branch thin enough. One may afterwards, if it be thought fit, for Areometers of common

---

pas ceux de peſanteur ſpécifique, comme je le dirai ci-après.

Les points indiqués ainſi ſur la branche, ayant des principes déterminés, feront les points fixes de l'Aréomètre. On en diviſera l'intervalle en 30 parties, qui feront des 30^{mes} de l'effet total de l'eau ajoutée, ſur la peſanteur ſpécifique de la liqueur. On verra dans la ſuite que c'eſt autant pour la commodité du commerce, que pour celle de l'ouvrier qui diviſera l'échelle, que j'ai choiſi ce nombre de parties.

Je ſuppoſe que l'on conſtruira l'étalon de manière que la différence d'enfoncement ſoit aſſez grande pour cet effet; ce qu'on peut obtenir en faiſant la branche aſſez mince. On pourra enſuite ſi l'on veut, pour les Aréomètres d'uſage peu

délicat,

mon uſe, and in which it is not neceſſary that the branch ſhould be ſo long, divide the fundamental interval into 15 parts, which will then be double degrees.

Having in this manner fixed points and determined degrees upon the Areometer, the next thing is to chuſe a convenient place for the o of its ſcale; and the beſt will be that by which all the eſſays of the liquors ſhall be expreſſed with the ſame ſign. To effect this, one may take one of the wines of which brandy is moſt commonly made, and, reducing it to the temperature of water in ice, dip the Areometer in it, obſerving how much higher it will ſtand than the inferior fixed point. This exceſs of emerſion, compared with the fundamental ſcale, and reduced to the neareſt number of degrees which will be an aliquot part of it, will be a proportional quantity fixed for ever, which will be added to the ſcale below the inferior

---

délicat, et où l'on ne voudra pas la branche ſi longue, diviſer l'intervalle fondamental en 15 parties, qui ſeront alors des doubles dégrés.

Ayant ainſi des point fixes et des dégrés déterminés ſur l'Aréomètre, il faut choiſir une place commode pour ſon zero; et le mieux eſt de le placer de manière que toutes les épreuves des liqueurs puiſſent être exprimées avec le même ſigne. Pour cet effet on pourra prendre un des vins donc on fait le plus communément l'eau de vie, et le réduiſant à la température de l'eau dans la glace, y plonger l'Aréomètre, obſervant de combien il s'enfoncera de moins que le point fixe inférieur. Ce ſurplus d'émerſion, comparé à l'intervalle fondamental, et réduit au nombre le plus prochain de dégrés qui ſe trouvera une partie aliquote de cet intervalle, ſera une quantité fixée pour toûjours, qu'il faudra ajouter à l'echelle au deſſous du

ferior fixed point, and determine the place of o. I ſuppoſe, for inſtance, that this exceſs of emerſion ſhould be about 15°, or the half of the fundamental ſcale: I would then fix it at this number; and in that caſe one ſhould conſtantly add half the fundamental diſtance below the inferior fixed point, and from theſe begin to count the degrees. I mean that the o would be at the bottom of the whole ſcale, the inferior fixed point would be at 15°, the ſuperior at 45°, and the ſcale could be prolonged at the top as much as ſhould be neceſſary for the eſſays of the moſt ſpirituous liquors. It is after this manner that the o of FAHRENHEIT's Thermometer is now determined; and that being placed at 32° below the inferior fixed point, the greater part of the obſervations are expreſſed upon it in poſitive degrees; ſo that it is only in extraordinary caſes that they are affected with the *minus* ſign.

---

du point fixe inférieur. Je ſuppoſe par exemple que ce ſurplus d'emerſion ſe trouvât de près de 15°, ou de la moitié de l'échelle fondamentalle; je le fixerois à ce nombre; et ainſi j'ajouterois toûjours une moitié de l'intervalle fondamental au deſſous du point fixe inférieur, pour commencer de là à compter les degrés de l'echelle. Ainſi le o feroit tout au bas, le point fixe inferieur ſeroit à 15°; le point fixe ſupérieur à 45°; et l'echelle ſeroit prolongée dans le haut autant qu'il ſeroit néceſſaire pour fournir à l'eſſai des liqueurs les plus ſpiritueuſes. C'eſt ainſi que le zéro du Thermomètre de FAHRENHEIT eſt à preſent déterminé, et que ſe trouvant ainſi placé à 32° au deſſous du point fixe inférieur, la majeure partie des obſervations y eſt exprimée en dégrés poſitifs; et qu'il faut des cas extraordinaires pour qu'elles ſoyent accompagnées du ſigne *moins*.

ſign. It would be convenient to pay a regard to this in all inſtruments, when no other reaſons interfere.

I come now to the correction for the differences of the heat. I would take a liquor of mean ſpirituoſity, as for inſtance a mixture of one part of water and ſeven parts of the ſpirits of wine determined by the hydroſtatic balance: into this liquor, reduced to the temperature of 45° of FAHRENHEIT, I would plunge the Areometer already graduated, and obſerve the point to which it ſinks. I would afterwards heat the liquor to 65°, and again obſerve the ſinking of the Areometer. One might likewiſe make uſe of the ſcale of my Thermometer, and obſerve the ſinkings at 5 and 15 of my degrees, which would come ſenſibly to the ſame.

This

---

moins. Il ſeroit commode d'avoir égard à cela dans tous les inſtrumens, quand rien d'allieurs ne s'y oppoſe.

Je viens à la correction pour les différences de la chaleur. Prenant une liqueur de ſpirituoſité moyenne, comme par exemple le mélange d'1 partie d'eau à 7 parties de l'eſprit de vin fixé par la balance hydroſtatique, je plongerois l'Aréomètre, déja gradué, dans cette liqueur réduite à la température de 45° de FAHRENHEIT, et j'obſerverois le point où il s'enfonceroit: j'échaufferois enſuite la liqueur à 65°, et j'y obſerverois encore l'enfoncement de l'Aréomètre. On pourroit auſſi, en employant l'échelle de mon Thermomètre, obſerver les enfoncemens à 5 et à 15 de mes dégrés, ce qui reviendroit ſenſiblement au même.

Cette

This obſervation being made, one may conceive that it would be eaſy to form a table in which one might expreſs, in degrees of the Areometer, the effects of the differences of heat correſponding to each degree of one or other of the Thermometers, ſetting out from a fixed point; ſince the effect correſpondent to each degree of the Thermometer, will be looked upon as proportionate to that which ſhall have been found in the fundamental obſervation.

But I would prefer another method, which I have recommended in my work(g), becauſe I have found it of great uſe in practice; that is, to make a particular ſcale for the Thermometer intended for theſe experiments, by changing the number of the degrees contained between

(g) Vol. I. p. 390.

the

Cette obſervation faite, on comprend qu'il ſeroit aiſé de former une table, dans laquelle on exprimeroit, en dégrés de l'Aréomètre, les effets des différences de chaleur, correſpondans à chaque dégré de l'un ou de l'autre des Thermomètres, à partir d'un point fixe; car l'effet correſpondant à chaque dégré du Thermomètre, ſera regardé comme proportionnel à celui qu'on aura trouvé dans l'obſervation fondamentale.

Mais je préférerois une autre méthode, que j'ai recommandée dans mon ouvrage *(g)*, parce que je l'ai trouvée d'une très grande commodité dans la pratique; c'eſt de faire une échelle particulière pour le Thermomètre deſtiné à ces épreuves; en changeant le nombre des degrés renfermés entre ſes points fixes,

(g) Tom. I. p. 390.

pour

the fixed points, in order to eſtabliſh an eaſy proportion between them, and the degrees of the Areometer, and that thus one might make the correction without tables. It would be eaſy, for inſtance, to make the degrees of the Thermometer anſwer to quarters of degrees of the Areometer; for in that caſe, reckoning them from a fixed point, one would only have to correct the obſervations made upon the Areometer, by a quarter of the number of degrees indicated upon the Thermometer, which ſeems to me very convenient: and as it is always eaſier to add than to ſubtract, I would place the o of this Thermometer at the point of the greateſt ordinary heat of the air, or about 24° of my Thermometer, and 86° of FAHRENHEIT'S: for then, reckoning the degrees of the Thermometer downwards, one ſhould only add them to the indication of the Areometer; ſince the cooling of the liquor

---

pour qu'ils euſſent un rapport ſimple avec ceux de l'Aréomètre, et qu'on pût ainſi ſe paſſer de tables. Il ſeroit fort aiſé, par exemple, que les dégrés du Thermomètre correſpondiſſent à des quarts de dégrés de l'Aréomètre; et alors, les comptant depuis un point fixe, on n'auroit qu'à corriger l'obſervation faite ſur l'Aréomètre, par le quart du nombre des dégrés qu'indiqueroit le Thermomètre; ce qui me paroitroit fort commode. Et comme il eſt toûjours plus aiſé d'additionner que de ſouſtraire, je placerois le zéro de ce Thermomètre au point de la plus grande chaleur ordinaire de l'air, c'eſt à dire aux environs de 24° de mon Thermomètre, ou 86° de FAHRENHEIT; car alors, comptant les dégrés du Thermomètre en deſcendant, il faudroit les ajouter à l'indication de l'Aréomètre;

liquor from this fixed point of temperature would leſſen the effect of the ſpirituoſity in the immediate indication of the Areometer, comparatively with what it ſhould be found at this determined point.

I have here alſo taken, for the compariſon of the indication of the Thermometer with the denſity of the ſame liquor differently warmed, terms which are within the extremes of the common obſervations, becauſe here ſeveral cauſes are combined in the ſame effect. 1. The progreſſion of the dilatations of ſpirituous liquids comparatively to quickſilver. 2. The different progreſſions of the liquids of different degrees of ſpirituoſity. 3. The change of bulk of the inſtrument itſelf in liquors of different temperatures. It became then neceſſary to avoid taking the fundamental terms of compariſon very wide of each other,

---

tre; puiſque le réfroidiſſement depuis ce point fixe de température, diminueroit l'effet de la ſpirituoſité ſur l'indication immédiate de l'Aréomètre, comparativement à ce qu'on la trouveroit à ce point déterminé.

J'ai pris encore ici pour la comparaiſon de l'indication du Thermomètre avec la denſité d'une même liqueur différemment chaude, des termes qui ſe trouvent en dedans des extrèmes des obſervations ordinaires; parce qu'ici pluſieurs cauſes ſe combinent dans un même effet, ſavoir, 1°. La marche des dilatations des liqueurs ſpiritueuſes comparativément au mercure. 2°. La différence de marche des liqueurs de différent dégré de ſpirituoſité. 3°. Les changemens de volume de l'inſtrument lui même dans les liqueurs différemment chaudes. Il falloit donc éviter de prendre les termes fondamentaux de comparaiſon à une grande diſtance, de peur de

other, leſt the error ariſing from conſidering the immerſions of the Areometer, occaſioned by the changes of temperature of the liquor, as being exactly proportionate to the indications of the Thermometer, ſhould thereby be rendered ſenſible.

Every part of the Inſtrument being thus determined, it will be eaſy to conſtruct it every where in an uniform manner. Experiments will then be made, and the degree of ſpirituoſity which liquors in trade, under certain denominations, ought to have, will be fixed: *ſpirit of wine*, for inſtance, *brandy* named *three-fifths* in Languedoc, that which is called *proof of Holland*, or any other. Theſe points being known, as the ſtandard of the precious metals fixed by the different States that coin money, there will then be eſtabliſhed a proportionate value of the *degrees of ſpirituoſity*, which ſhould be found

---

de rendre ſenſible l'erreur qui reſultera toûjours de conſidérer les enfoncemens de l'Aréomètre provenans des variations de la chaleur de la liqueur, comme exactement proportionnels aux indications du Thermométre.

Toutes les parties de l'Inſtrument étant ainſi déterminées, il ſera aiſé de le conſtruire partout d'une manière uniforme. On fera alors des expériences, et l'on fixera à certains points de l'Aréomètre, le dégré de ſpirituoſité que devront avoir les liqueurs attendues dans le commerce ſous certaines dénominations; l'*eſprit de vin*, par exemple, l'*eau de vie* nommée *trois quints* en Languedoc, celle qu'on nomme *à l'épreuve de Hollande*, ou telle autre: et ces points étant connus, comme on connoit les titres des métaux précieux fixés par les divers Etats qui battent monoye, il s'établira auſſi une valeur proportionnelle des *dégrés de ſpirituoſité*

found more or leſs than the expected degree, as there is a price for the *karat* of gold or *denier* of ſilver, by which the ſeller and buyer might always be able to do themſelves juſtice. For inſtance, every degree leſs than the point fixed for the common *ſpirit of wine* would be $\frac{1}{70}$ to be made good by the vender, that is about $1\frac{1}{2}$ *per cent.* in the language of trade, and 1 *per cent.* only on *brandy* named *three-fiths.*

When this Areometer ſhould have come into general uſe, the Police of the places in which the trade of ſpirituous liquors is carried on, might take cognizance of it, and keep the public ſtandard of the Areometer, as they keep the ſtandards of weights and meaſures. The inſpectors of that trade would thus have fixed modes of eſſaying, and the public all the neceſſary ſecurity.

There

---

oſité de plus ou de moins que le dégré attendn; comme il y a un prix pour le *karat* de l'or et le *denier* de l'argent: par où le vendeur et l'acheteur pourront toûjours ſe faire juſtice. Par exemple, chaque dégré de moins que le point fixé pour l'*eſprit de vin* ordinaire, ſeroit $\frac{1}{70}$ à bonifier par le vendeur, ou environ $1\frac{1}{2}$ pour cent en terme de commerce; et 1 pour cent ſeulement ſur l'*eau de vie trois quints.*

Quand cet Aréomètre ſeroit devenu d'un uſage un peu général, la Police des lieux où ſe fait le commerce des liqueurs ſpiritueuſes, pourroit en prendre connoiſſance, et conſerver l'étalon public de l'Aréomètre, comme elle tient en dépôt ceux des meſures et des poids. Les inſpecteurs prépoſés auroient ainſi des épreuves fixes, et le Public toute la certitude néceſſaire ſur cet objet.

Il

There would be little advantage, with reſpect to exactneſs, in making of ſpirit of wine the Thermometer intended for theſe eſſays; though its variation would be more exactly conformable to the effects of heat upon liquors of the ſame ſpecies: for it has been ſeen how far, by the method I propoſed, the differences vaniſh; and, on the contrary, there would be a loſs on two accounts: the one, that this Thermometer would be much leſs ſenſible than the quickſilver one; the other, that it is much more difficult to conſtruct it, when one wants to make it upon fixed principles, and this the rather as good workmen have loſt the habit of making them.

One ſees, moreover, that the ſame Areometer may *(mutatis mutandis)* be uſed to meaſure the ſaltneſs of water. Upon which I ſhall only obſerve, that the manner indicated of fixing the correction for the heat, would be ſtill more

---

Il y auroit peu à gagner pour l'exactitude, à faire d'eſprit de vin le Thermomètre deſtiné à ces épréuves, quoique ſa marche fût dans le fond plus conforme aux effets de la chaleur ſur des liqueurs de même eſpèce; car on a vu à quel dégré la méthode que je propoſe a fait diſparoitre les différences: et il y auroit à perdre au contraire à deux égards, l'un que ce Thermomètre ſeroit bien moins ſenſible que celui de mercure, l'autre qu'il eſt bien plus difficile à conſtruire, lorſqu'on veut le faire ſur des principes certains; d'autant plus que les bons ouvriers ont perdu l'habitude d'en faire.

On voit au reſte que le même inſtrument peut être employé à meſurer la ſalure de l'eau, *mutatis mutandis.* Sur quoi je ferai remarquer ſeulement, que la manière indiquée de fixer la correction pour la chaleur y ſeroit d'autant plus néceſſaire, qu'il y a plus de différence dans la marche des effets de la chaleur,

more neceſſary in that caſe, as there is a ſtill greater difference in the progreſſions of the effects of heat, between waters differently ſalted, than there is between liquors that have a different degree of ſpirituoſity; as may be ſeen by the experiments upon this ſubject which I have explained in my work (*b*).

Whatever approximation the method which I have applied to the conſtruction of the Areometer may give towards indicating, by equally diſtant degrees upon the inſtrument, equal differences of ſpirituoſity or ſaltneſs of the liquids into which it is dipped; it will ſtill be true that it will only ſhew equal differences in the ſpecific gravity

---

(*b*) Vol. I. p. 271.—One may alſo ſee, in the deſcription of fig. 3, the method of applying this inſtrument to meaſure in general the ſpecific gravity of all liquids in which it can ſink.

---

chaleur, entre les eaux différemment ſalées, qu'entre les liqueurs différemment ſpiritueuſes; comme on peut le voir par les expériences que j'ai rapportées à ce ſujet dans mon ouvrage (*b*).

Quelque approximation que fourniſſe la méthode que j'ai appliquée à la conſtruction de l'Aréomètre, pour indiqueur, par des dégrés également diſtans ſur l'inſtrument, des différences égales entr'elles de ſpirituoſité ou de ſalure des liquides dans leſquels on le plongera; il ſera toûjours vrai ſans doute, qu'il ne montrera exactement que des différences égales dans la peſanteur ſpécifique de ces liquides,

---

(*b*) Tom. I. p. 271.—Voyez auſſi dans la deſcription de la fig. 3. le moyen d'employer cet inſtrument pour meſurer en général la peſanteur ſpécifique des liquides où il peut s'enfoncer.

gravity of the liquids, to which the equal differences of ſaltneſs or ſpirituoſity will not exactly anſwer.

But the inſtrument being conſtructed upon fixed principles, one might afterwards ſeek for the true laws which the different intenſities of theſe cauſes follow, when the changes in the ſpecific gravity are equal between them; as I have already done (from an idea of Mr. LE SAGE's) for the real differences of heat correſpondant to degrees equally diſtant upon the Thermometer(i); a determination which would be uſeful in the particular caſes in which the approximation given by the inſtrument would not be ſufficient.

I have not yet executed this inſtrument; nor indeed is it neceſſary that I ſhould undertake to do it, in a country

(i) Vol. I. p. 285.

where

---

liquides, auxquelles ne correſpondront pas auſſi exactement des différences égales de ſalure ou de ſpirituoſité.

Mais l'inſtrument étant conſtruit ſur des principes fixes, on pourroit enſuite chercher les vraies loix que ſuivent les différences d'intenſité de ces cauſes auxquelles correſpondent des changemens égaux entr'eux dans la peſanteur ſpécifique; comme je lai fait (d'après une idée de M^r LE SAGE) pour les différences réelles de chaleur qui produiſent des dégrés également diſtans ſur le Thermomètre (i); fixation qui ſerviroit dans quelques cas particuliers, où l'approximation fournie par l'inſtrument ne ſeroit pas ſuffiſante.

Je n'ai pas encore pu exécuter cet Aréomètre; et il eſt peu néceſſaire même que je l'entreprenne, dans un pays où tant d'artiſtes ſont en état de me com-

(i) Tom. I. p. 285.

prendre

where ſo many artiſts will underſtand me by this deſcription, and may even ſupply what I have omitted. And ſhould any one be deſirous of undertaking it, I would willingly aſſiſt him by communicating to him ſome ideas for the execution, which would have made this paper too long.

Concluſion with reſpect to phyſical meaſures in general.

Though the Areometer is uſeful in itſelf, the chief reaſon of my dwelling upon it was to give an example of the general rule I have before eſtabliſhed.

Here are in this caſe only three phyſical effects, the degrees of which are not proportionate to their apparent cauſes, and which are united under the appearance of one ſingle

---

prendre ſur cette deſcription, et de ſuppléer même à ce que je pourrois avoir ommis: et je me ferois d'ailleurs un plaiſir d'aider le premier qui voudra l'entreprendre, en lui communiquant quelques idées de détail dans l'exécution, qui auroient trop allongé ce mémoire.

Concluſion ſur les Meſures phyſiques en général.

Quoique l'Aréomètre aît de l'utilité par lui même, je me ſuis principalement arrêté à expliquer ſes principes, pour donner un exemple de la règle générale que j'ai établie.

Voila, dans un ſeul cas, trois effets phyſiques dont les degrés ne ſont pas proportionnels à ceux de leurs cauſes, réunis même ſous l'apparence d'un ſeul, ſavoir

ſingle effect, namely, the different ſinking of the Areometer. In the firſt place, it will not always ſink in liquors of different denſities in general, proportionally to theſe denſities, on account of the changes of its own bulk by heat, and the poſſible irregularity of its branch. Secondly, it will not ſink in proportion to the changes of temperature of the liquor, becauſe the changes of denſity of the latter will not follow the ſame law as the changes of temperature. I have already mentioned theſe two cauſes of error; but here is a third. The Areometer will not ſink exactly in the inverſe ratio of the quantities of flegm; becauſe the ſpecific gravity of the liquor does not follow the proportion of theſe quantities. It has an increaſing progreſſion; and here the immediate cauſe of this diſproportion, which is evident, may give us an idea of what takes place

---

ſavoir l'enfoncement différent de l'Aréomètre. D'abord il ne s'enfoncera pas toûjours dans les liqueurs de différentes denſités en général, proportionnellement à ces denſités; à cauſe de ſes propres changemens de volume par la chaleur, et de l'irrégularité poſſible de ſon tube. Enſuite il ne s'enfoncera pas proportionnellement aux changemens de température de la liqueur; parce que les changemens de denſité de celle-ci ne ſuivront pas la même loi que les changemens de température. J'ai déja indiqué ces deux cauſes d'erreur; mais en voici une troiſième. L'Aréomètre ne s'enfoncera pas exactement en raiſon inverſe des quantités de flegme; parce que la peſanteur ſpécifique de la liqueur ne ſuit pas le rapport de ces quantités; elle a une marche croiſſante. Et ici, la cauſe prochaine de cette diſproportion, qui eſt évidente, peut nous donner une idée de ce qui ſe paſſe dans place in Nature, and hinders phyſical effects from appearing proportional to their cauſes, in our obſervations.

The ſpirit and the flegm penetrate each other; that is to ſay, the bulk of the mixture is a little leſs than the ſums of the two bulks before the mixture; and ſo the ſpecific gravity, which is the weight or the quantity of matter under a certain bulk, increaſes a little in the mixture, comparatively with the mean ſpecific gravity of the component parts. This penetration ſeems to me to give us ſôme idea of the hidden cauſes in bodies, which modify, unknown to us, the effects of the apparent cauſes, and prevent the obſerved effects being proportional to theſe.

One muſt therefore, in order to have equal degrees in the Areometer, without ſenſible error upon the ſpirituoſity

---

dans la Nature, et qui empêche les effets phyſiques d'être proportionnels à leurs cauſes dans nos obſervations.

L'eſprit et le flegme ſe pénètrent; c'eſt à dire que le volume du mélange eſt un peu moindre que la ſomme des deux volumes avant le mélange: ainſi la peſanteur ſpécifique, qui eſt le poids ou la quantité de matière, ſous un certain volume, augmente un peu dans le mélange, comparativement à la peſanteur ſpecifique moyenne des compoſans. Cette pénétration repréſente aſſez bien ce me ſemble les cauſes cachées dans les corps, qui modifient à notre inſu les effets des cauſes apparentes, et empêchent que les effets obſervés ne leur ſoyent proportionnels.

Il faut donc, pour avoir des degrés égaux dans l'Aréomètre ſans erreur ſenſible ſur la ſpirituoſité qu'il doit meſurer, fixer ces degrés par la comparaiſon d'effets obſervés

oſity that it is intended to meaſure, fix theſe degrees by the compariſon of effects obſerved within the limits of the common obſervations: and this is the ſecureſt way in practice; for how could one make a ſcale follow all theſe different laws?

This is what I propoſed to apply to phyſical effects of all kinds which have unequal degrees, by equal differences in the intenſity of their cauſes, or by equal degrees of ſome co-effect more eaſily obſerved, and which ſhould be made uſe of to determine the other.

In order to make the advantage of this method more conſpicuous, I will now apply it to the co-effects the moſt different which exiſt perhaps in Nature, I mean the augmentations of the bulks of quickſilver and water by the ſame augmentations of heat.

I will

---

obſervés en dedans des limites des obſervations ordinaires; et c'eſt le chemin le plus ſûr dans la pratique; car comment pourroit on faire ſuivre à une échelle toutes ces différentes loix.

Voilà ce que je me propoſois d'appliquer aux effets phyſiques de tout genre, qui ont des degrés inégaux, par des différences égales d'intenſité de leurs cauſes, ou par des degrés égaux de quelque co-effet, plus aiſé à obſerver, et qui devroit ſervir à déterminer les autres.

Pour rendre l'utilité de cette méthode plus frappante, je vais l'appliquer aux co-effets les plus diſparates peut-être qu'il y aït dans la Nature; je veux dire les augmentations de volume du mercure et de l'eau, par les mêmes augmentations de la chaleur.

Je

I will only put the ſame caſes I have explained before for ſpirituous liquors: the firſt, in which the actual trial has been made at 80° of the Thermometer, the ſecond, in which it is ſuppoſed to be made at 20°, both compared with 0; and the third, in which the trial is made at 5° and 15°. The deviations of the three caſes between the temperatures of 0 and 20° (reputed to be the limits of the common obſervations) are as follow:

1ſt caſe.

Je poſerai ſimplement les mêmes cas que j'ai expliqués ci-devant pour les liqueurs ſpiritueuſes; le premier où l'épreuve actuelle a été faite à 80° du Thermomètre; le ſecond où elle eſt cenſée faite à 20°; l'un et l'autre comparativement à 0: et le troiſième où cette épreuve eſt faite à 5° et à 15°. Les écarts des trois cas, 3 entre les températures de 0 et 20°, cenſées être les limites des obſervations ordinaires, ſont comme ſuit.

1^e cas.

1ſt caſe.		2d caſe.		3d caſe.	
Therm.	Dil. of water.	Therm.	Dil. of water.	Therm.	Dil. of wat.
80	80				
. . .	. . . .				
20	4,1	20	20	20	27,5
15	1,6	15	7,8	15	15
10	0,2	10	1	10	8
5	−0,4	5	−1,9	5	5
0	0	0	0	0	+7

In the change of the expreſſion of the dilatations of the water in the third caſe, as in the correſponding caſe for the ſpirituous liquors above mentioned, it was neceſſary to conſider as o or *x* the bulk of the matter correſponding with 5° upon the quickſilver Thermometer, ſince it is with

---

1er cas.		2d cas.		3me cas.	
Therm.	Dilat. de l'eau.	Therm.	Dilat. de l'eau.	Therm.	Dilat. de l'eau.
80	80				
. . . .	. . . .				
20	4,1	20	20	20	27,5
15	1,6	15	7,8	15	15
10	0,2	10	1	10	8
5	−0,4	5	−1,9	5	5
0	0	0	0	0	+7

Dans le changement de l'expreſſion des dilatations de l'eau au 3me cas, comme dans le cas correſpondant ci-devant pour les liqueurs ſpiritueuſes, il a fallu d'abord conſidérer comme *zéro* ou z le volume de l'eau correſpondant à 5° ſur le Ther-

with this point that its bulk at the temperature 15° is compared. Making afterwards equal to 15 − 5 = 10 the number of the equal parts which meaſure the augmentation of the bulk of water, inſtead of 1,6 + 0,4 = 2, which was the number in the firſt caſe taken from the experiment, I have changed all theſe terms in the proportion of 2 to 10, which has preſerved the ſame proportions between them. After this the expreſſion of the Thermometer continuing the ſame, that is, its 0 or *x* remaining 5° lower than the inferior points of the actual compariſon, in order to have, without calculation, the deviations within and without thoſe points of compariſon, it was neceſſary to add 5 to all the firſt numbers which expreſs the real dilatations of the water. I might have ſubtracted 5 from each indication of the Thermometer, which would have come to the ſame. It will be eaſily

---

Thermomètre de mercure; puiſque c'eſt avec ce point que ſon volume à la température 15° eſt comparé. Faiſant enſuite égal à 15 − 5 = 10 le nombre des parties égales qui meſure l'augmentation de volume de l'eau, au lieu de 1,6 + 0,4 = 2 qu'étoit ce nombre dans le premier cas tiré de l'expérience, j'ai changé tous les termes dans le rapport de 2 à 10; ce qui a conſervé les mêmes proportions entr'eux. Après quoi, l'expreſſion du Thermomètre reſtant la même, c'eſt à dire ſon *zéro* ou *z* reſtant de 5° plus bas que le point inférieur de comparaiſon actuelle; pour avoir ſans calcul les déviations au dedans et au dehors de ces points de comparaiſon, il a fallu ajouter 5 à tous les nombres qui expriment les dilatations réelles de l'eau. J'aurois pu retrancher 5 à chaque indication du Thermomètre, ce qui ſeroit revenu au même. On verra aiſément je crois que c'eſt là la route

eaſily ſeen, I believe, that this was the road to follow in order to tranſpoſe, in the third caſe, thoſe proportions found by experiment, which immediately conſtitute the ſecond. I proceeded in the ſame manner in the example drawn from the two ſpirituous liquors. As to the ſecond caſe, as well for theſe liquors as for the water, it is evident, that the change of the ſcale which meaſures their dilatations, occaſions no change in the proportions of the terms found by experiment.

I repeat it, I do not believe one has ever obſerved, in any caſe, two co-effects of the ſame cauſe which follow more diſproportioned progreſſions, than theſe dilatations of quickſilver and water by the ſame augmentations of heat: and yet one ſees, that by this method (I mean by obſerving the real proportions of the co-effects within the ordinary limits of the intenſities of the cauſes) one

---

route qu'il falloit ſuivre, pour tranſporter dans le 3^{me} cas, ces rapports trouvés par l'expérience qui forment immédiatement le premier. J'ai procédé de la même manière dans l'exemple tiré des deux liqueurs ſpiritueuſes. Quant au ſecond cas, tant pour ces liqueurs que pour l'eau, il eſt évident que le changement de l'échelle qui meſure leurs dilatations, n'en apporte aucun dans le rapport des termes trouvés par l'expérience.

Il ne me ſemble pas, je le répéte, qu'on aît obſervé en aucun cas, deux co-effets d'une même cauſe qui ſuivent des marches plus diſproportionées que ces dilatations du mercure et de l'eau par les mêmes augmentations de la chaleur; et cependant on voit que par cette méthode (je veux dire en prenant par obſervation des rapports des co-effets au dedans des limites ordinaires des intenſités des cauſes) on

one leſſens much the errors in the other terms, which will reſult from ſuppoſing them to be proportionate to the obſerved proportions; and that one procures a ſenſible exactneſs near the points of actual trial, which are at the ſame time near the greateſt number of the caſes of practice for which one wiſhes to find meaſures.

And if one conſiders co-effects in general, ſetting aſide this extreme diſparity, one will perhaps ſeldom meet with any, which follow laws more different than the correſponding dilatations of quickſilver and brandy: even very frequently they will not deviate more than thoſe of brandy and ſpirits of wine; and in that caſe it has been ſeen, that this method reduces ſo much the deviations by throwing them out of the limits of the ordinary caſes, that it may be uſed without ſenſible error, when thoſe co-effects

---

on diminue beaucoup les écarts qu'on fera dans les autres termes en les ſuppoſant proportionnels aux rapports obſervés; et qu'on ſe procure même ſenſiblement l'exactitude, aux environs des points d'épreuve actuelle, qui ſont en même tems les plus près du plus grand nombre des cas de pratique pour leſquels on cherche des meſures.

Et ſi l'on conſidère les co-effets en général, mettant à part cette extrême diſparité, on trouvera peut-être rarement qui ſuivent des loix plus différentes que les dilatations correſpondantes du mercure et de l'eau de vie; très ſouvent même ils ne s'écarteront pas davantage que celles de l'eau de vie et de l'eſprit de vin; et alors on a vu, que cette méthode y réduit tellement les écarts, en les rejettant hors des limites des cas ordinaires, qu'on pourra l'employer ſans erreur ſenſible,

co-effects are not followed in all their degrees. Whilſt, on the other hand, the method of taking the fundamental proportions in points which are very diſtant, under the idea of leſſening the effects of the errors, is exactly that which accumulates a greater quantity of them upon the intermediate caſes, which are the moſt frequent, and often the only ones in the which there is need in practice of knowing the co-effects by one another.

One muſt not, therefore, ſeek the power of the Thermometer which corrects watches, invented by the immortal HARRISON, by trying it in the temperatures of artificial congelation and in a ſtove; for that is the way of deſtroying a great part of its correcting effect, in the very caſes wherein it is moſt neceſſary, by accumulating on them the deviations of two co-effects, probably very little proportional, namely, the changes of the elaſtic force of

---

ſenſible, quand on n'aura pas ſuivi ces co-effets dans tous leurs degrés. Tandis que celle de chercher leurs rapports en des points fort éloignés, dans l'idée de diminuer l'effet des erreurs, eſt préciſément le moyen d'en accumuler le plus ſur les cas intermédiares, qui ſont les plus fréquens; et ſouvent les ſeuls où l'on aît beſoin de connoitre les co-effects les uns par les autres.

Il ne faut donc pas, par exemple, chercher le pouvoir du Thermomètre correcteur des montres, inventé par l'immortel HARRISON, en l'éprouvant dans les températures d'une congélation artificielle et d'une étuve: car c'eſt le moyen de lui ôter une grande partie de cet effet correcteur, dans les cas où il eſt le plus néceſſaire; puiſque c'eſt y accumuler les écarts de deux co-effets probablement très peu proportionnels; ſavoir les changemens de force élaſtique d'un reſſort ſpiral,

of a ſpiral ſpring, combined with all the other alterations heat produces in a watch, and the different degrees of bending of a lamella compoſed of two metals differently dilatable by heat. I am apt to believe, that a part of the irregularities which ſtill continue in theſe watches with correcting Thermometers, proceed from not having tried their effects within the limits of the natural temperatures to which the watches are expoſed.

For the ſame reaſon it will not be proper to uſe very great differences of heat in the experiments intended to find the required combination of the two ſubſtances in the pendulum: on the contrary, it will even be better to make them within the limits of the natural variations of heat which the pendulum will meet with in its place: for by that means, though theſe ſubſtances have not probably

---

ſpiral, combinés avec toutes les autres altérations que produit la chaleur dans une montre, et les différentes courboures qu' éprouve une lame compoſée de deux métaux différemment dilatables par la chaleur. Auſſi ſuis-je porté à croire, qu'une partie des irrégularités qui reſtent encore dans ces montres à Thermomètres correcteurs, viennent de n'avoir pas cherché leurs effets au dedans des limites des températures naturelles où les montres ſont expoſées.

Par la même raiſon il ne faudra pas employer de très grandes différences de chaleur dans les expériences deſtinées à trouver la combinaiſon convenable des deux matières dans le pendule; et au contraire il conviendra de les faire en dedans même des limites des variations naturelles de chaleur que le pendule éprouvera à ſa place: car par là, quoique ces matières n'ayent probablement pas la bably the ſame progreſſion by heat, one will not perceive in practice the effects of their differences.

One muſt not neither, from the compared dilatations of air and quickſilver in paſſing from the freezing to the boiling point, conclude the relation of the denſities of the air in the atmoſphere with the height of the quickſilver in the Thermometer. For here, as in the compariſon between ſpirituous liquors and quickſilver, we have a double error to guard againſt, that which may ariſe from the differences in the progreſſion of all air and quickſilver by the variations of the heat, and that which more or leſs exhalations and vapours certainly do produce in the dilatations of the former. I believe, therefore, that to confine one's ſelf, in ſeeking for a common rule, within the limits of the moſt frequent natural variations of heat, and obſerving their effects in the atmoſphere itſelf, will be the

---

la même marche par la chaleur, on ſera ſenſiblement à l'abri des effets de leurs differences.

Il ne faudra pas non plus chercher, par les rapports des dilatations de l'air et du mercure en paſſant de la glace à l'eau bouillante, ceux des denſités de l'air dans l'atmoſphère avec la marche du Thermomètre. Car ici, comme dans la comparaiſon des liqueurs ſpiritueuſes au mercure, nous avons double erreur à prévenir: celle qui peut reſulter des différences dans les marches de tout air et du mercure par les variations de chaleur, et celle que produiſent ſurement dans la marche du premier, le plus ou le moins de vapeurs et d'exhalaiſons qu'il contient. Se renfermer donc, pour la recherche d'une règle commune, dans l'étendue des variations de chaleur les plus fréquentes, en obſervant leurs effets dans l'atmoſphère

the ſureſt mean of diminiſhing the errors, till ſuch time as one ſhall be able to follow theſe variations of denſity though all their cauſes; enquiries worthy the greateſt care of natural philoſophers.

For the ſame reaſons it will not be in the greateſt and leaſt degrees of heat in the atmoſphere that we muſt take the fundamental proportions of the refractions with the Thermometer: for unleſs one was likewiſe to determine by experiment ſome of the intermediate proportions, one would probably be expoſed to very great errors; conſidering firſt, in general, that the changes of the denſity of air by heat may poſſibly, as I have juſt ſaid, not obſerve the ſame law as thoſe of the quickſilver in the Thermometer; conſidering likewiſe that the changes of the denſity of the atmoſpherical air by heat are probably accom-

---

ſphère même, ſera je crois le moyen le plus ſûr de diminuer les erreurs, juſqu'a ce qu'on ſoit en état de ſuivre pas à pas ces variations de denſité par toutes leurs cauſes; recherches dignes du plus grand ſoin des phyſiciens.

Par les mêmes raiſons il ne faudra pas chercher dans les plus grandes et les moindres chaleurs de l'atmoſphère, le rapport des réfractions avec le Thermomètre: car à moins de déterminer auſſi par l'expérience quelques uns des rapports intermédiares, on ſeroit probablement ſujet à de très grandes erreurs: vu d'abord en général, que les changemens de denſité de l'air par la chaleur, pourroient bien, comme je viens de la dire, ne pas ſuivre la même loi que ceux du mercure dans le Thermométre: vu encore que les changemens de denſité de l'air atmoſphérique

accompanied with a change of its nature, by the mixture of vapours and exhalations, which may occaſion great variations in the law of dilatations; conſidering above all, that the changes of refringent power and of denſity are two co-effects of very different nature, the progreſſions of which may differ more, than thoſe of the denſities alone in different bodies. Here then are complications of complications, which may very likely accumulate errors in the intervals of the proportions furniſhed by experience between the refractions and the indications of the Thermometer, if thoſe proportions were taken in points very far diſtant. The application of the theory of refractions to the practice of aſtronomy is as delicate as important, and cannot be viewed in too many lights; which determines me not to inſiſt farther here

---

ſphérique par la chaleur, ſont probablement accompagnés de changement dans ſa nature par le mélange des vapeurs et des exhalaiſons, ce qui peut rendre la loi de ſes dilatations très variable; vu ſurtout que les changemens de vertu refringente et de denſité, ſont deux co-effets de nature bien differente, et dont les marches peuvent s'écarter davantage, que celles des denſités ſeules dans différens corps. Voilà donc des complications de complications, qui pourroient bien accumuler des erreurs dans l'intervalle des rapports fournis par l'expérience entre les réfractions, et les indications du Thermomètre, ſi ces rapports étoient pris en des points fort éloignes. L'application de la théorie des refractions à la pratique de l'aſtronomie, eſt auſſi délicate qu'importante, et l'on ne ſauroit l'enviſager here on this object, but to conſider it by itſelf in another Paper.

As to phyſical co-effects in general, and I dare aſſert it here, in co-effects of all kinds, if one cannot fix all their relations, degree by degree, by immediate and ſure obſervations, one muſt avoid deducing general rules from relations taken in the extremes. The action of cauſes, moral as well as phyſical, whether from the variety of the ſubjects on which they act, whether from ſecondary ones which eſcape our obſervations, is too complicated, for the obſervable modifications to increaſe in the exact proportion of the evident cauſes; and conſequently for the co-effects of theſe to be proportionate between themſelves.

I ſhall

ſager par trop de faces; ce qui me détermine à ne pas m'étendre d'avantage ici ſur cet objet, pour la traiter à part dans un autre Mémoire.

Quant aux co-effets phyſiques en général, et j'oſe le dire ici, dans les co-effets de tout genre, ſi l'on ne peut pas fixer tous leurs rapports degré par degré par des obſervations immédiates et ſures, il faut éviter de tirer des règles générales, de rapports pris dans les extrêmes. L'action des cauſes, tant morales que phyſiques, eſt trop compliquée, ſoit par la variété des ſujets ſur leſquels elles agiſſent, ſoit par des cauſes ſécondaires qui échappent à nos obſervations, pour que les modifications obſervables croiſſent en proportion exacte des cauſes évidentes; et par conſéquent, pour que les co-effets de celles-ci ſoyent proportionels entr'eux.

Je

I ſhall now collect the reſults of the preceding reflexions with regard to phyſical meaſures.

When the inquiry is into general cauſes, ſuch as heat, the electric fluid, *humor*, light, the weight of the air, the fall of bodies, percuſſion, &c. cauſes concerning which we never acquire ſufficient light, we muſt endeavour to find out what are their moſt ſimple effects, in order to meaſure the intenſity of them by thoſe effects. In that caſe it is proper that the fixed terms of the meaſure be taken at the greateſt poſſible diſtances. For it being the moſt ſimple effect, and conſequently that which approaches neareſt to follow, by its degrees, thoſe of the intenſity of the cauſe, it will ſerve as a common meaſure for all the other effects dependant on it. One muſt, therefore, aſcertain the uniform

---

Je vais maintenant raſſembler ici les réſultats des réflexions précédentes à l'égard des Meſures phyſiques.

Lorſqu'il s'agira de cauſes générales, comme la chaleur, le fluide électrique, l'*humor*, la lumière, le poids de l'air, la chute des corps, les chocs, &c. cauſes ſur l'action deſquelles nous n'acquerrons jamais aſſez de lumières, il faut chercher quels ſont leurs effets les plus ſimples, afin de meſurer leur intenſité par ces effets. Alors ſans doute il convient que les termes fixes de la meſure ſoyent pris aux plus grandes diſtances poſſibles. Car s'agiſſant de l'effet le plus ſimple, et par conſéquent le plus approchant de ſuivre par ſes degrés ceux de l'intenſité de la cauſe, il ſervira de meſure commune pour tous les autres effet qui en dépendront. Il faut donc aſſurer la conſtruction uniforme de la meſure;

form conſtruction of the meaſure, which cannot be more accurately obtained than by a great diſtance of the fixed points; and attempt, however, by every means poſſible, to find the proportions of this moſt ſimple and moſt regular effect, with its cauſe. It is on this account, that, in my treatiſe on the Thermometer, I have expoſed all the reaſons which lead me to believe that quickſilver is the body whoſe changes of bulk are moſt proportionate to the variations of heat which produce them, in order to aſſure to this liquid the preference as a common meaſure of heat: and that afterwards, as I have ſaid above, I looked for the proportions of its progreſſion with thoſe of heat itſelf.

But as to the co-effects which will be indicated by theſe meaſures of general cauſes, unleſs they can be determined degree after degree by experiment, and the objects

---

ce qu'on obtient plus ſurement par une grande diſtance des points fixes; et chercher cependant par tous les moyens poſſibles les rapports de cet effet le plus régulier, avec ſa cauſe. C'eſt par ces raiſons que dans mon traité ſur le Thermomètre, j'ai raſſemblé tous les motifs qui me portent à croire que le mercure eſt celui des corps dont les changemens de volume ſont les plus proportionnels aux variations de la chaleur qui les produiſent; afin d'aſſurer à ce liquide la préférence pour la meſure commune de la chaleur: et qu'enſuite, comme je l'ai dit ci-deſſus, j'ai cherché les rapports de ſa marche avec celle de la chaleur elle-même.

Mais quant aux co-effects qui feront indiqués par ces meſures des cauſes générales, à moins qu'on ne puiſſe les déterminer degré par degré à l'aide de l'expérience,

objects are delicate enough to make this neceſſary, the ſafeſt, and at the ſame time moſt convenient, method will be always to keep within the limits of the natural caſes, to fix the fundamental points of the proportions; uſing for that purpoſe all the ſupplies of art and ſound logic to come as near to exactneſs as poſſible in fixing theſe baſes. It is this conſideration which ſeems to me to give ſome value to the method of aſcertaining the relative expanſibilities of bodies, which is the ſubject of the firſt part of this paper. If the co-effects are proportionate between them, there will be little loſt in not taking diſtant terms of compariſon, if they are taken exactly. If the co-effects are not proportionate, there will be much gain; and the leſs they are, ſo much the more.

We are obliged to take up with probability in Nature in ſo many reſpects, that it is perhaps of more importance

---

rience, et que les objets ſoyent aſſes délicats pour qu'il le faille, la méthode la plus ſure, et en même tems la plus commode, ſera toûjours de rentrer en dedans des limites des cas naturels, pour fixer les points fondamentaux des rapports; en employant tout ce que l'art et la bonne logique peuvent fournir de ſecours et de méthodes pour approcher le plus qu'il eſt poſſible de l'exactitude en fixant ces baſes. C'eſt cette conſidération qui me paroit donner du prix à la méthode de fixer les expanſibilités rélatives des corps, qui fait le ſujet de la première partie de ce Mémoire. Si les co-effets ſont proportionnels entr'eux, on perdra peu à ne pas prendre des termes de comparaiſon éloignés, pourvu qu'on les prenne avec exactitude. S'ils ne le ſont pas, on gagnera beaucoup; et d'autant plus, qu'ils le feront moins.

Nous ſommes obligés de nous contenter du probable à tant d'égards dans la Nature, tance to us to inveſtigate the phyſical rules of probability than to attend to its mathematical rules upon hypotheſes.

EXPLANATION OF THE FIGURES.

FIG. I.

aa A rod of a ſubſtance little dilatable by heat (glaſs for inſtance) ſuſpended vertically.

b A bracket, from which hangs that rod.

c *Point of ſuſpenſion* of the rod. It is the point where the rod is free from the preſſure of the piece which keeps it

---

Nature, que chercher les règles phyſiques de la probabilité, nous eſt peut-être plus eſſentiel, que de nous attacher à ſes règles mathématiques ſur des hypothèſes.

EXPLICATION DES FIGURES.

FIG. I.

aa Une branche d'une matière peu dilatable par la chaleur (de verre par exemple) ſuſpendue verticalement.

b Une pièce fixée quelque part, d'où pend cette branche.

c *Point de ſuſpenſion* de la même branche. C'eſt celui où elle ſe trove dégagée de it ſuſpended; and it is from that point only that the length of the rod is reckoned. This is the rod which is called *fixed* in the paper.

dd A rod of a more dilatable ſubſtance than the former.

e Point at which the rods are connected, called in the paper *point of union* of the rods.

f Point marked upon the rod *dd* at the middle height of the rod *aa*.

g Another point upon the ſame rod, at the third part of that height.

The rod *dd* is the one which is called *free* in the paper. If then that *free rod* has a dilatability double of that of the *fixed rod*, the point *f* ſhall be *immoveable*, notwithſtanding the variations of the heat. If the firſt dilatability is triple, then the point *d* will be *immoveable*.

FIG.

---

de la pièce qui la tient ſuſpendue; et c'eſt de ce point ſeulement que doit ſe compter la longueur de la branche. C'eſt celle qui eſt dite *fixée* dans le Mémoire.

dd Une branche d'une autre matière plus dilatable que la prémière.

e Point où les deux branches ſont goupillées enſemble, nommé dans le mémoire *point de réunion* des branches.

f Point marqué ſur la branche *dd* à la moité de la hauteur de la branche *aa*.

g Autre point marqué ſur la même branche, au tiers de la hauteur de l'autre.

La branche *dd* eſt celle qui eſt ditte *libre* dans le Mémoire. Si donc cette *branche libre* a une dilatabilité double de celle de la *branche fixée*, le point *f* ſera *immobile*, malgré les variation de la chaleur. Si la prémière dilatabilité eſt triple de la dernière, ce ſera le point *d* qui ſera *immobile*.

FIG.

FIG. II.

aa Stand to which the *Pyrometer* is ſuſpended.

b The hook from which it hangs.

ccc The deal-board which is the baſis of the whole apparatus.

dddd Four arms to which the frame *eeee* is fixed.

eeee The frame.

ssss Another frame, which carries the Microſcope.

gg Two croſs pieces, through which paſſes the tube of the Microſcope, and which ſupport it near both ends.

hh The Microſcope.

i Its Micrometer.

k Cork, through which paſſes the glaſs rod, and by which it is kept ſuſpended.

ll The

FIG. II.

aa Le ſupport auquel eſt ſuſpendu le *Pyromètre.*

b Le crochet d'où il pend.

ccc La planche de ſapin qui ſert de baſe à tout l'appareil.

dddd Quatre bras qui ſervent à porter le cadre *eeee.*

eeee Ce cadre.

ffff Le chaſſis qui porte le Microſcope.

gg Deux traverſes dans leſquelles paſſe le tube du Microſcope, pour le ſoutenir près de ſes deux bouts.

hh Le Microſcope lui même.

i Son Micromètre.

k Liège dans lequel la branche de verre eſt tenue.

ll La

ll The glaſs rod.

m A rod of metal, or of any other ſubſtance leſs dilatable than glaſs.

n *Point of union*, obtained by means of two connected rings, in which both rods are faſtened by ſcrews.

Higher up is another pair of rings, in one of which the metal rod is free, and which rod it ſupports.

op The piece to which the glaſs rod is ſuſpended.

q A ſquare piece fixed to the frame by four ſcrews, behind which is a box, in which, as well as in a groove cut in the baſis in *p*, the piece *op* ſlides.

r A ſcrew, which paſſes through the ſquare piece *q*, whoſe uſe is to move backwards or forwards the piece *q*, in order to bring the ſurface of the metal rod to the focus of the Microſcope.

ssss Four

---

ll La branche de verre.

m La branche de métal, ou de toute autre ſubſtance plus dilatable que le verre.

n Le *point de réunion*, produit par deux anneaux accouplés, où chacune des branches eſt fixée par une vis.

Un double anneau ſemblable, mais où la branche de métal paſſe librement, ſe voit plus haut, et ſert à ſoutenir cette dernière branche.

op La pièce à laquelle la branche de verre eſt ſuſpendue.

q Une autre pièce fixée ſur le cadre par 4 vis, derrière laquelle eſt une boite où la piece *op* gliſſe fort juſte, ainſi que dans une mortaiſe faite à la planche *ccc* en *p*.

r Une vis qui paſſe au travers de la pièce *q*, et qui ſert à faire mouvoir la pièce *op* en avant ou en arrière pour amener la ſurface de la branche de métal au foyer du Microſcope.

ssss Quatre

ssss Four ſcrews, with round metal plates behind their heads, which ſerve to preſs the frame of the Microſcope againſt the frame *eeee:* the longitudinal openings, through which paſs the ſcrews, permit the free motion of the firſt frame, when one ſtrikes gently with a hammer to the bottom or the top of one of the ſides.

When one wants the Microſcope higher or lower than the grooves permit, one may change the ſcrews in other holes made on purpoſe in the ſide pieces of the frame *eeee*.

tttt The cylindrical bottle, in which hang the rods, in order to be heated at different degrees by water of various temperatures.

uu Supporters of the bottle.

x Ther-

---

ssss Quatre vis, ayant des plaques de métal derrière leurs têtes, qui ſervent à preſſer le chaſſis du Microſcope contre le cadre *eeee*; ſans empêcher cependant que ce chaſſis ne puiſſe monter ou deſcendre (par le moyen des ouvertures longitudinales où paſſent les vis) en frappant des petits coups de marteau deſſous ou deſſus l'un des côtés.

Quand on a beſoin de placer le Microſcope plus haut ou plus bas que les couliſſes ne peuvent le permettre, on change les vis en d'autres trous qui ſont le long des montans du cadre *eeee*.

tttt La bouteille cylindrique dans laquelle pendent les branches pour y être échauffées à différens degrés, par de l'eau à différentes températures.

uu Supports de cette bouteille.

x Ther-

x Thermometer ſuſpended in the water.

yy A rod, to the lower end of which is fixed a ſmall plate, to ſtir the water by moving it up and down.

zz A ſyphon, one branch of which is within, and the other without, the bottle, the latter with a cock; ſerving to draw off the quantity of water which is neceſſary for changing the temperature in the bottle.

FIG. III.

a The ball of the *Areometer*, which is of glaſs and empty, except

b The ſmall ciſtern at the bottom, which contains quickſilver.

cc The *branch*, made of a thin metal tube, cemented to the ball.

45,15 Two

---

x Thermomètre ſuſpendu dans l'eau.

yy Baguette au bas de laquelle eſt une petite plaque, qui ſert à agiter l'eau en la faiſant mouvoir de bas en haut et de haut en bas.

zz Syphon, dont une des branches eſt dans la bouteille, et l'autre au dehors portant un robinet; ſervant à tirer de la bouteille la quantité d'eau neceſſaire aux changemens de degrès de chaleur.

FIG. III.

a Boule de l'*Aréomètre*, qui eſt de verre et vuide, excepté

b Le petit reſervoir rempli de mercure.

cc La branche, faite d'un tube mince de métal cimenté à la boule.

45,15 Deux

45, 15 Two threads tied to the branch, which are the *fixed points* of the Areometer, as intended to try ſpirituous liquors.

The conſtruction of the whole ſcale is explained in the paper.

One may apply another ſcale on the oppoſite ſide of the *branch* (ſuch as the arbitrary ſcale in the figure) intended to try merely the ſpecific gravity of the liquids in which the Areometer may be dipped. The particular *fixed points* of this ſcale (as for inſtance *dd)* may be taken in two liquids whatſoever, whoſe ſpecific gravities, tried by the hydroſtatic balance, ſhall have a convenient relation; and the ſpace between thoſe two points will be divided into a convenient number of equal parts.

The

45, 15 Deux fils attachés autour de la branche, qui ſont les *points fixes* de l'*Aréomètre*, comme deſtiné à l'épreuve des liqueurs ſpiritueuſes.

La conſtruction de toute cette échelle eſt expliquée dans le Mémoire.

On peut tracer de l'autre côté de la branche une autre échelle (comme l'échelle arbitraire de la figure) marquant ſimplement les peſanteurs ſpécifiques des liquides dans leſquels l'*Aréomètre* ſera plongé. Ses *points fixes* (comme par exemple *dd)* pourront auſſi être marqués par des fils dans deux liqueurs quelconque, où la balance hydroſtatique aura indiqué des peſanteurs ſpecifiques qui ayent entr'elles des rapports ſimples, dont la différence ſera diviſée enſuite en parties égales ſur l'échelle.

Il

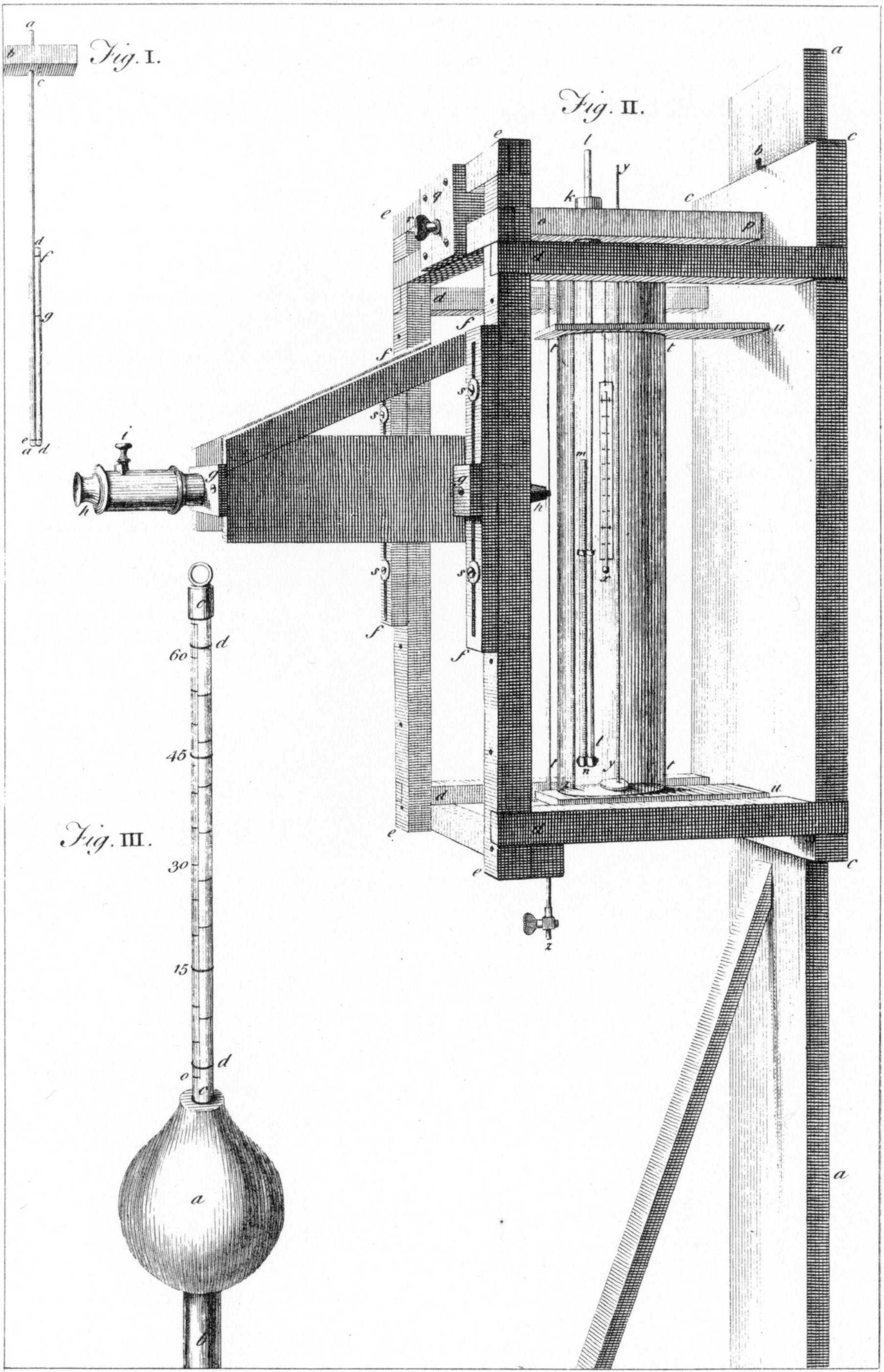

Fig. I.

Fig. II.

Fig. III.

de Luc del.

Basire Sc.

The proportions are not determined in this figure, which ſerves only to help the explanation of the principles upon which a *comparable Areometer* might be conſtructed.

Il n'y a rien de déterminé dans les proportions de cette figure, qui ſert uniquement à rendre plus intelligible les principes ſur leſquels on pourroit conſtruire un *Aréomètre comparable*.